

**EFFECTO DE DIFERENTES PROCESOS FISICOQUÍMICOS EN LA REDUCCIÓN
DE FACTORES ANTINUTRICIONALES DE LA SEMILLA DE VITABOSA
(*Mucuna deeringiana*)**

SANDRA PATRICIA CHAPARRO ACUÑA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA- SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS
MEDELLÍN
2009**

**EFFECTO DE DIFERENTES PROCESOS FISICOQUÍMICOS EN LA REDUCCIÓN
DE FACTORES ANTINUTRICIONALES DE LA SEMILLA DE VITABOSA
(*Mucuna deeringiana*)**

SANDRA PATRICIA CHAPARRO ACUÑA

**Tesis para optar al título de
Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos**

Director

Profesor Iván Darío Aristizábal Torres, Ingeniero Agrícola, D.Sc.

Codirector

Profesor Jesús Humberto Gil González, Químico, D.Sc.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA- SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS
MEDELLÍN
2009**

Nota de aceptación:

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, 24 de septiembre de 2009

AGRADECIMIENTOS

- A la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín por el financiamiento del proyecto.
- Al profesor Iván Darío Aristizábal por su constante apoyo, por el tiempo que amablemente me obsequio y por su certera dirección.
- Al profesor Jesús Humberto Gil por su dedicación, orientación y aportes a la realización de este proyecto.
- Al profesor Misael Cortés por permitir el uso del Laboratorio de Procesos.
- A los profesores Carlos Mario García, Diego Durango y los demás miembros del Laboratorio de Productos Naturales de la Sede por el espacio brindado para llevar a cabo este proyecto.
- A Nancy Vanegas y David Lazarus auxiliares técnicos por su constante colaboración y ánimo.
- A mis amigos Fabiola Peña, Francly López, Julián Martínez y Alvaro Muñoz por su compañía y apoyo en las diferentes etapas del proyecto.
- A mi familia por estar siempre conmigo.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1 EL GÉNERO <i>MUCUNA</i>	18
1.2 LA VITABOSA	18
1.3 LA <i>Mucuna deeringiana</i> COMO ALIMENTO	19
1.4 FACTORES ANTINUTRICIONALES (FAN)	20
1.4.1 L-Dopa	22
1.4.2 Fenoles	24
1.4.3 Taninos	25
1.4.5 Inhibidores de tripsina.....	26
1.5 MÉTODOS DE PROCESAMIENTO.....	27
1.5.1 Tostado.....	27
1.5.2 Hidratación.....	27
1.5.3 Cocción.....	27
1.5.4 Germinación	28
1.6 ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES	28
1.6.1 Requerimientos nutricionales del animal	28

1.6.1.1 Agua.....	29
1.6.1.2 Energía.....	29
1.6.1.3 Proteína.....	29
1.6.2 Concentrados a base de <i>Mucuna</i>	30
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.1 MATERIALES.....	31
2.2 MÉTODOS	31
2.2.1 Caracterización de la semilla	31
2.2.1.1 Evaluación Proximal.....	31
2.2.1.2 Cuantificación de Factores Antinutricionales.....	34
2.2.2 Aplicación de los tratamientos fisicoquímicos.....	36
2.2.2.1 Tratamiento control (C)	37
2.2.2.2 Tostado (T).....	37
2.2.2.3 Hidratación (H)	37
2.2.2.4 Hidratación y cocción (HYC)	37
2.2.2.5 Germinación (G120).....	37; Error! Marcador no definido.
2.2.3 Evaluación de los tratamientos	38
2.2.4 Selección de los mejores tratamientos	39
2.2.5 Análisis Estadístico	39
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA.....	40
3.2 CUANTIFICACIÓN DE FACTORES ANTINUTRICIONALES	43

3.2.1 L-Dopa	43
3.2.2 Fenoles Totales	46
3.2.3 Taninos	48
3.2.4 Inhibidores de Tripsina.....	51
3.3 Tratamientos seleccionados.....	53
3.3.1 Selección de Tratamientos	53
3.3.2 Análisis proximal de los tratamientos seleccionados	54
4. CONCLUSIONES	60
5. RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFIA.....	63
Anexos.....	78

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Composición química de la semilla de Vitabosa comparada con la torta de soya	19
Tabla 2. Composición mineral de la semilla de <i>M. deeringiana</i> y <i>M. pruriens</i>	20
Tabla 3. Composición de aminoácidos de las semillas de varias especies de <i>Mucuna</i>	21
Tabla 4. Factores Antinutricionales de las semillas de diferentes especies de <i>Mucuna</i> (g/100g de materia seca)	22
Tabla 5. Tratamientos fisicoquímicos evaluados	38
Tabla 6. Caracterización de la semilla de Vitabosa (<i>Mucuna deeringiana</i>).....	40
Tabla 7. Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a la vitabosa sobre el contenido de L-Dopa.....	44
Tabla 8. Análisis de varianza para el contenido de L-Dopa de acuerdo con los tratamientos usados.....	44
Tabla 9. Prueba de Comparación Múltiple L-Dopa	45
Tabla 10. Efecto de los tratamientos en el contenido de Fenoles Totales de la semilla de vitabosa	47
Tabla 11. Análisis de varianza Fenoles Totales.....	47
Tabla 12. Prueba de Comparación Múltiple Fenoles Totales	48

Tabla 13. Efecto de los tratamientos en el contenido de Taninos de la semilla de vitabosa	49
Tabla 14. Análisis de varianza de los tratamientos sobre los taninos	50
Tabla 15. Prueba de comparación múltiple Taninos	50
Tabla 16. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de Inhibidores de Tripsina de la semilla de vitabosa.....	51
Tabla 17. Análisis de varianza Inhibidores de Tripsina	52
Tabla 18. Prueba de Comparación Múltiple Inhibidores de Tripsina.....	53
Tabla 19. Porcentaje de reducción de los factores antinutricionales	54
Tabla 20. Análisis proximal de los tratamientos seleccionados	55
Tabla 21. Análisis de varianza de los tratamientos sobre la humedad	55
Tabla 22. Prueba de Comparación Múltiple Humedad	55
Tabla 23. Análisis de varianza de los tratamientos sobre la Proteína cruda.....	56
Tabla 24. Prueba de Comparación Múltiple Proteína cruda	56
Tabla 25. Análisis de varianza de los tratamientos sobre la Grasa bruta	56
Tabla 26. Prueba de Comparación Múltiple Grasa bruta	57
Tabla 27. Análisis de varianza de los tratamientos sobre las cenizas	57
Tabla 28. Prueba de Comparación Múltiple Cenizas	57
Tabla 29. Análisis de varianza de los tratamientos sobre la Fibra cruda	58

Tabla 30. Prueba de Comparación Múltiple Fibra cruda.....	58
Tabla 31. Análisis de varianza de los tratamientos sobre los carbohidratos.....	58
Tabla 32. Prueba de Comparación Múltiple Carbohidratos	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación de la molécula de L-dopa.....	23
Figura 2. Estructura química del Fenol	24
Figura 3. Estructura química del ácido gálico, un tanino.....	26
Figura 4. Semilla de Vitabosa (<i>Mucuna deeringiana</i>).	31
Figura 5. Vitabosa germinada.	38
Figura 6. Prueba de comparación múltiple de la posición media de los tratamientos en la reducción de los factores antinutricionales	54

ANEXOS

Anexo A. Resultados de L-Dopa por HPLC

Anexo B. Curvas de calibración

RESUMEN

La vitabosa (*Mucuna deeringiana*) es una planta de la familia de las fabáceas que es utilizada en el control de malezas, las plagas y en la recuperación de suelos, principalmente en Asia, África y Centroamérica. En Colombia es poco conocida y su uso se ha reducido a pruebas que ha realizado el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) en cultivos de arroz en el norte del país. Su semilla tiene un alto contenido proteico pero contiene factores antinutricionales (L-Dopa, fenoles, taninos e inhibidores de tripsina principalmente) que limitan su posible utilización en alimentación. Esta investigación tuvo como objetivo reducir estos factores antinutricionales (FAN) mediante algunos tratamientos fisicoquímicos como tostado, hidratación en soluciones de hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio y cloruro de sodio, cocción y germinación. Previamente se realizó una caracterización de la semilla mediante un análisis proximal y la cuantificación de los FAN. Luego se aplicaron los tratamientos fisicoquímicos propuestos y se determinó la cantidad de FAN que quedaron en las semillas luego de estos procesos. Con los resultados obtenidos se llevó a cabo la selección de los cuatro mejores tratamientos a los cuales se les realizó un análisis proximal para detectar el cambio en la concentración de los principales componentes como la proteína cruda, la grasa bruta, la fibra cruda, las cenizas, humedad y el extracto libre de nitrógeno ELN. La composición proximal de la semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*) dió como resultado proteína cruda 28,5%, grasa cruda 2,3 %, fibra cruda 7,4 %, cenizas 3,9 % y ELN 29,3%. El contenido de L-Dopa en las semillas crudas fue de 5,17%, fenoles totales, 11,8 %, taninos, 2,19 % e inhibidores de tripsina, 22,43 TUI/g de muestra. Luego de la aplicación de los tratamientos se evidenció que el tostado por 60 minutos y la hidratación y cocción ocasionan una reducción significativa de L-Dopa (60,3% y 59,7 %, respectivamente) y fenoles totales (27,8 % y 26,2 %). La hidratación en hidróxido de calcio y en bicarbonato de sodio mostraron ser los procesos más efectivos en la reducción de taninos (69,8 % y 63,9 %, respectivamente). La hidratación seguida por cocción y la hidratación en hidróxido de calcio disminuyeron significativamente el contenido de inhibidores de tripsina en un 83 y 75 %, respectivamente. Los tratamientos seleccionados para el análisis proximal fueron la hidratación y cocción, el tostado durante 60 minutos, la hidratación en hidróxido de calcio y en cloruro de sodio. Se evidenció un cambio significativo en la composición proximal de la semilla luego de la aplicación de los tratamientos escogidos. Estos resultados indican que los FAN se pueden reducir en la vitabosa con procesos sencillos y eficaces que podrían ser usados por los cultivadores sin ningún equipo costoso.

Palabras clave: semillas, *Mucuna deeringiana*, factores antinutricionales.

ABSTRACT

Vitabosa (*Mucuna deeringiana*) is a *Fabaceae* family plant that is used in controlling weeds, pests and soil remediation, mainly in Asia, Africa and Central America. In Colombia is little known and its use has been limited to tests done by the SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) in rice fields in the north. Its seed is high in protein but contains anti-nutritional factors (L-Dopa, phenols, tannins and trypsin inhibitors in particular) that limit their feasible use as food. This research was objective to reduce these antinutrients by some physicochemical treatments such as roasting, soaking in calcium hydroxide, sodium bicarbonate, sodium chloride solutions, cooking and germination. Previously a seed characterization by a proximate analysis and FAN quantification was carried out. After, the treatments were applied and determined the amount of FAN in the seeds. With the obtained results selecting the four best treatments was carried out. They were tested with a proximal analysis to detect the change in concentration of main components such as crude protein, crude fat, crude fiber, ash, moisture and nitrogen free extract ELN. The proximate composition of vitabosa seed (*Mucuna deeringiana*) was 28,5% crude protein, crude fat 2,3%, crude fiber 7,4%, ash 3,9% and ELN 29,3%. The content of L-Dopa in the raw seeds was 5,17%, total phenolics, 11,8%, tannins, 2,19% and trypsin inhibitors, 22,43 TUI / g sample. Applying the treatments showed that the roasting for 60 minutes and the soaking and cooking caused a significant reduction in L-Dopa (60,3% and 59,7% respectively) and total phenols (27,8% and 26,2%). The soaking in calcium hydroxide solution and sodium bicarbonate solution proved to be more effective in reducing tannins (69,8% and 63,9% respectively). Soaking followed by cooking and hydration in calcium hydroxide solution significantly reduced the content of trypsin inhibitors by 83 and 75% respectively. The treatments selected for analysis proximal were soaking and cooking, roasting for 60 minutes and soaking in calcium hydroxide and sodium chloride solutions. It showed a significant change in the proximate composition of the seed after treatments application. These results suggest that FAN can be reduced in vitabosa with simple and effective processes that could be used by farmers without any expensive equipment.

Keywords: seeds, *Mucuna deeringiana*, anti-nutritional factors.

INTRODUCCIÓN

La cadena de los alimentos balanceados hace parte de la cadena agroindustrial de los cereales forrajeros (Martínez y Acevedo, 2001). Dentro de la estructura productiva de esta última cadena, los alimentos balanceados son productos intermedios que sirven de puente entre varios sectores agrícolas: semillas oleaginosas, cereales y cárnicos. Por esta razón, en los países con alto nivel de desarrollo hay una fuerte integración entre la producción de cereales forrajeros y la de alimentos balanceados para animales (Yemall, 1998).

En Colombia, la evolución del sector de alimentos balanceados para animales ha girado principalmente en torno a la producción de alimentos para aves de postura y engorde. No obstante, durante la década pasada, el sector mostró un proceso de diversificación en la producción, lo que le ha permitido entrar con nuevos productos en las líneas de acuicultura, mascotas y porcicultura. En general, en las empresas del sector privado ha venido acentuándose la preocupación por lanzar productos novedosos, ampliar las líneas de producción y tecnificar las existentes, y por utilizar insumos nuevos; esto ha sido el resultado del aumento de la disponibilidad de insumos y de la investigación en el área de desarrollo experimental de materias primas sustitutas. Adicionalmente, se han empeñado en realizar cambios en el empaque y en permanecer informados respecto a lo que sucede en materia tecnológica a nivel internacional. Dos efectos ha tenido este proceso dentro de las empresas del sector privado; el aumento de las fusiones entre empresas avícolas y empresas de alimentos balanceados, y la sustitución de sorgo por maíz amarillo y/o soya en la fabricación de alimentos para animales (Fenavi y Fonav, 1999).

En Colombia, la industria de alimentos balanceados para animales ha dependido principalmente de dos insumos; maíz grano como fuente energética y torta de soya o fríjol de soya como fuente proteica. La demanda por producción de biocombustibles ha modificado los escenarios del mercado internacional y sus precios. Se ha visto la necesidad de adoptar nuevos productos de alto contenido proteico para elaborar parte de la producción de alimentos para animales, debido al alto costo de la soya, que es ocasionado por su amplio uso, tanto en alimentación humana y animal como en biocombustibles (Salunke *et al.*, 1992, Eco2site, 2004).

La vitabosa (*Mucuna deeringiana*) es una planta conocida por su gran capacidad para producir follaje de corte o abono verde, eliminar malezas, controlar la erosión y mejorar los suelos (Corpoica, 2000, Echeverri y Rodríguez, 1999). Su semilla es una leguminosa de la familia del fríjol que por su alto contenido proteico (Adebowale *et al.*, 2005) puede ser aprovechada como materia prima para la

elaboración de concentrados animales. Se han realizado estudios en alimentación animal (principalmente en pollos) con las semillas de otras especies del género *Mucuna*, principalmente, en *M. pruriens*.) (Flores *et al.*, 2006, Ukachukwe y Szabo, 2003), pero no se han encontrado reportes del uso con este fin de la *M. deeringiana*.

Aunque la *Mucuna deeringiana* es utilizada en África, Asia y Centroamérica, en nuestro país es muy poco conocida y cultivada, lo que se evidencia en los pocos datos conocidos sobre su producción nacional. El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) ha implementado el cultivo de esta planta en el mejoramiento de suelos y control de malezas en el Urabá Antioqueño, obteniendo excelentes resultados para suelos pobres en nutrientes y ácidos; ricos en hierro y aluminio, muy pedregosos e invadidos por malezas (AUPEC, 1997). Aunque tiene usos variados, la utilización como materia prima en la elaboración de concentrados para animales puede ser una alternativa de desarrollo económico y social, principalmente en la región del bajo Cauca Antioqueño que presenta erosión debido a la explotación de cultivos ilícitos (Monroy, 2008) y minera (Universidad de Antioquia, 2004; Vicepresidencia de la República de Colombia, 2008).

Como la mayoría de las legumbres, las semillas de vitabosa contienen varios factores antinutricionales (L-Dopa, fenoles, taninos, inhibidores de proteasas) que causan trastornos en la salud y que limitan su consumo (Infante *et al.*, 1990). Dentro de estos trastornos se encuentran principalmente, vómito, náuseas, incremento de la temperatura corporal y erupciones en la piel tanto en humanos como en animales (Janardhanan *et al.*, 2003). Los factores antinutricionales interfieren con el aprovechamiento de los nutrientes, promueven pérdidas importantes de proteína y, en algunos casos, producen daños al organismo del animal que los consume (Sharma y Sehgal, 1992). Por tal razón, es importante la reducción de estos antinutrientes, debido a que en los alimentos balanceados para animales es indeseable su presencia. Se han realizado estudios en otras variedades de *Mucuna* (en *M. pruriens*, principalmente) donde los métodos hidrotérmicos, de fermentación y germinación han demostrado ser efectivos en la reducción de los factores antinutricionales de las semillas (Siddhuraju y Becker, 2001; Wanjekeche *et al.*, 2003). Gurumoorthi *et al.* (2008) reportan la reducción del contenido taninos, fenoles y L-Dopa de *M. pruriens* utilizando métodos fisicoquímicos como hidratación, cocción, germinación y tostado. Bath *et al.* (2007) estudiaron el impacto de la radiación gamma sobre la disminución de la concentración de estos factores antinutricionales de la *M. pruriens*. Sin embargo, en *M. deeringiana* aún no se han reportado estudios donde se apliquen tratamientos. Por lo tanto, se decidió realizar un estudio exploratorio con la vitabosa basado en los tratamientos utilizados por Gurumoorthi *et al.* (2008) en la reducción de antinutrientes de la *Mucuna pruriens*.

Por consiguiente, en esta investigación se evaluó el efecto de algunos tratamientos fisicoquímicos en la en la reducción de los factores antinutricionales de la semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*). Se realizó el análisis proximal de la semilla, se determinó la eficacia de tratamientos como el tostado, la hidratación en diferentes soluciones, la cocción y la germinación en la reducción del contenido de L-Dopa, fenoles totales, taninos e inhibidores de tripsina y se determinaron sus efectos sobre el contenido proximal de la semilla.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 EL GÉNERO *MUCUNA*

Cerca de 100 especies de *Mucuna* han sido encontradas en los trópicos y subtrópicos en ambos hemisferios. Se han caracterizado 13 en Indochina, Malasia y Tailandia. Entre estas se encuentran la *Mucuna pruriens*, *Mucuna nivea* (Lyon velvet bean), *Mucuna hassjoo* (Yokohama velvet bean), *Mucuna aterrima* Holl. (Mauritius or Bourbon velvet bean), *Mucuna utilis* Wall. (Bengal velvet bean), y *Mucuna deeringiana* Merr. (Florida or Georgia velvet bean) (Wilmot-Dear, 1984).

1.2 LA VITABOSA

La *Mucuna deeringiana*, conocida también como vitabosa, *Stizolobium deeringianum* o *Mucuna enana* es una planta originaria de la India. Se llevó a los Estados Unidos en el año 1860 y hacia 1890 se inició su empleo como cultivo de cobertura para el control de malezas y mejoramiento de suelos en el sistema de rotación con cultivos comerciales de algodón y maíz. Probablemente, esta especie fue introducida en Centroamérica como cultivo forrajero en el decenio de los 20 por la “United Fruit Company”, una empresa productora de bananos con grandes plantaciones a lo largo de la costa Atlántica de América Central. La *mucuna* servía de alimento para las mulas que transportaban el banano desde las plantaciones hasta las estaciones ferroviarias pero su uso disminuyó a medida que las mulas fueron reemplazadas por tractores 10 años después. Posteriormente se conoció su magnífica capacidad como fuente de forraje para ovinos, porcinos, bovinos y equinos. El grano se empezó a utilizar como fuente de proteína en la alimentación del ganado lechero y de ceba. En los porcinos y aves se utilizó como grano proteico pero previamente tostado para inactivar el compuesto L-Dopa que, en los animales monogástricos, puede provocar trastornos en el crecimiento (Restrepo y Márquez, 1994).

La vitabosa es una planta fijadora de nitrógeno (lo toma del aire y lo transforma en sustancias útiles para la planta) utilizada como cobertura que produce gran cantidad de hojas que cubren el suelo y comúnmente, es sembrada en asocio con cultivos o en terrenos en descanso, porque compite por luz, agua y nutrimentos con las malezas ayudando a eliminarlas (Corpoica y Pronata, 2003). Además, mantiene la humedad del suelo y aumenta su contenido de materia orgánica contribuyendo de esta forma a la disminución de la erosión y recuperación del suelo (Ospina, 1992). Esta leguminosa fue empleada como planta de cobertura por muchos años, sin embargo, con la aparición de los herbicidas y de los fertilizantes sintéticos esta especie se dejó de utilizar. Actualmente, con el incremento de los precios de los insumos agrícolas y el deseo de lograr sistemas

agrícolas más sostenibles, ambiental y económicamente, se ha retomado esta práctica agrícola como una alternativa para el manejo de los cultivos (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001). Además, esta planta es fuerte, resistente a los insectos, a la sequía y de fácil manejo con mínimo cuidado (Restrepo y Márquez, 1994).

1.3 LA *Mucuna deeringiana* COMO ALIMENTO

La vitabosa es una leguminosa de alto valor nutricional que tiene potencial en la elaboración de alimentos balanceados por su alto contenido de proteína y otros elementos aprovechables (Valdivel, 2000; Agbede y Aletor, 2005) que hace que se constituya en una alternativa factible para el establecimiento de cultivos comerciales para la producción de alimentos para animales (Echeverri y Rodríguez, 1999; Del Carmen *et al.*, 1999; Navas y Bernal, 1999; Trejo, 1998).

Adebowale *et al.*, (2005) compararon la composición química de 6 especies de *Mucuna* entre las que se encuentra la *Mucuna deeringiana* que presenta importante contenido de proteína. La Tabla 1 muestra los datos nutricionales de la vitabosa (*M. deeringiana*), la *M. pruriens* (la especie de *Mucuna* más utilizada y estudiada en Asia y Africa) y la soya (*Glycine max*), ésta última, materia prima proteica utilizada en la elaboración de alimentos balanceados para animales. Se puede observar que el contenido proteico de la vitabosa es menor que el de la torta de soya pero mayor que el de la *M. pruriens*.

Tabla 1. Composición química de la semilla de Vitabosa comparada con la torta de soya

Parámetro (%*)	<i>M. deeringiana</i> (Adebowale <i>et al.</i> , 2005)	<i>M. pruriens</i> (Adebowale <i>et al.</i> , 2005)	Torta de Soya (Burcu <i>et al.</i> , 2006)
Humedad	4,46	4,64	8,38
Proteína	38,2	37,5	44,37
Grasa	8,72	9,65	2,18
Cenizas	3,41	3,24	5,63
Fibra Cruda	5,79	7,91	3,5
Carbohidratos	45,2	44,9	59,1

* Los valores se reportan en materia seca (MS).

El contenido de minerales es un índice de calidad en el uso como materia prima en la elaboración de concentrados para cerdos y ganado vacuno (Pomeranz y Clifton, 1981). La vitabosa presenta un buen contenido de minerales y otros elementos, entre los que se destacan potasio, calcio y fósforo (Tabla 2).

Tabla 2. Composición mineral de la semilla de *M. deeringiana* y *M. pruriens*

Parámetro (mg/ 100 g*)	<i>M. deeringiana</i>	<i>M. pruriens</i>
Sodio	3,86	2,87
Potasio	361	389
Calcio	408	262
Magnesio	72,6	52,8
Fósforo	607	457
Hierro	17,6	14,9
Cobre	0,98	0,57
Zinc	6,08	3,76
Manganeso	0,35	0,30

* Los valores se reportan en materia seca de producto (MS).

Fuente: Adebowale *et al.*, 2005.

El porcentaje de aminoácidos que la constituyen son factores importantes que caracterizan la calidad de una proteína (Hsu *et al.*, 1977; Suman *et al.*, 1992). En su papel de piezas esenciales de la vida, los aminoácidos son nutrientes críticos en cualquier formulación dietética animal, principalmente monogástricos, aves y cerdos. De aquí radica la importancia de la calidad y cantidad de los aminoácidos en las materias primas utilizadas en la elaboración de alimentos balanceados para animales. La Tabla 3 muestra la composición de estos importantes nutrientes en diferentes especies de *Mucuna* y en otras leguminosas. Es importante resaltar que el contenido de aminoácidos de las especies de *Mucuna* está dentro de los valores recomendados por la FAO y, en algunos casos, duplican su valor. Se puede observar que la metionina y la cisteína son los aminoácidos limitantes en la mayoría de las especies de *Mucuna*. En el caso de la metionina, el contenido es más alto en vitabosa que en la soya. El contenido alto de lisina en las especies de *Mucuna* es un atributo nutricional importante y hace de esta leguminosa una fuente suplementaria de proteínas significativa para dietas en animales.

1.4 FACTORES ANTINUTRICIONALES (FAN)

Las áreas tropicales son ricas en recursos con potencial nutricional, lo cual puede representar una alternativa ante la gran oferta de granos y oleaginosas provenientes de las áreas agrícolas industrializadas de las regiones templadas del mundo. Sin embargo, esa aparente alta disponibilidad de alimentos de origen vegetal para consumo humano y de ingredientes para alimentos balanceados, principalmente leguminosas, con un buen contenido y balance de proteína y energía, no pueden ser utilizados en todo su potencial por el efecto limitante que imponen los denominados factores antinutricionales FAN (Gueguen *et al.*, 1993).

Tabla 3. Composición de aminoácidos de las semillas de varias especies de *Mucuna*

AMINOACIDO (mg/g proteína cruda)	<i>M. pruriens</i>	<i>M. deeringiana</i>	Soya	Valores FAO/WHO 1985*
Alanina	63,9	82,5	42,3	-
Arginina	90,6	90,5	71,3	-
Asparragina y ácido aspártico	171	126	113	-
Cisteína	Trazas	9,3	17,0	-
Glutamina y ácido glutámico	155,5	180	169	19,0
Glicina	50,5	49,7	40,1	-
Histidina	35,3	46,6	25,0	31,0
Isoleucina	92,3	97,2	46,2	31,0
Leucina	90,8	90,8	77,2	73,0
Lisina	46,4	66,5	60,8	64,0
Metionina	Trazas	12,7	12,2	27,0**
Fenilalanina	80,8	62,1	48,4	69,0***
Prolamina	151	161	48,6	-****
Serina	41,5	63,5	56,7	-
Treonina	44,4	61,9	37,6	37,0
Triptófano	22,3	23,0	33,9	12,5
Tirosina	70,9	85,5	12,4	-
Valina	58,3	75,9	45,9	38,0
%Aminoácidos esenciales totales	39,8	40,1	41,7	-

* Datos de FAO/WHO (1985) patrón de referencia de requerimiento de aminoácidos esenciales (mg/kg por día) en niños de preescolar (2-5 años).

** Metionina + cistina.

*** Fenilalanina + tirosina.

**** La FAO sólo recomienda cantidades de consumo de aminoácidos esenciales.

Fuente: Adebowale *et al.*, 2005.

La acción de los FAN no sólo consiste en interferir con el aprovechamiento de los nutrientes sino que en varios casos promueve pérdidas importantes de proteína endógena y en algunos casos produce daños al organismo del animal que los consume. Los FAN son sustancias naturales no fibrosas generadas por el metabolismo secundario de las plantas, como un mecanismo de defensa ante el ataque de mohos, bacterias, insectos y pájaros, o en algunos casos, productos del metabolismo de las plantas sometidas a condiciones de estrés, que al estar contenidos en ingredientes utilizados en la alimentación de animales ejercen efectos contrarios a su óptima asimilación, reduciendo el consumo e impidiendo la digestión, la absorción y la utilización de nutrientes por el animal. Su naturaleza, mecanismos de acción y sus efectos son muy variados y tienen una amplia distribución en el reino vegetal (Linier, 1994; Huisman *et al.*, 1990).

Los componentes antinutricionales más importantes identificados en las especies de *Mucuna* son L-Dopa, fenoles, taninos, inhibidores de proteasas, lectinas y ácido fítico (Ravindran y Ravindran, 1988; Siddhuraju *et al.*, 1996). La Tabla 4 muestra los principales antinutrientes de algunas especies de *Mucuna* donde cabe resaltar que la *Mucuna deeringiana* tiene el más bajo contenido de L-Dopa, fenoles totales, inhibidores de tripsina y saponinas, lo que constituye una ventaja en el momento de la reducción de éstos.

Tabla 4. Factores Antinutricionales de las semillas de diferentes especies de *Mucuna* (g/100g de materia seca)

Factores Antinutricionales	<i>M. deeringiana</i>	<i>M. pruriens</i>	<i>M. cochinchinensis</i>	<i>M. rajada</i>
Fenoles totales	4,34	7,75	6,53	6,23
L-Dopa	3,87	4,99 4,44-5,63**	6,11	5,35
Inhibidores de tripsina*	18,5	24,2	23,6	26,1
Saponinas	0,52	1,46	2,07	1,99
Ácido fítico	1,42	1,97	1,50	1,23
Taninos	-	0,3***	****	-

*mg de inhibidores de tripsina por gramo de muestra

** Fuente: Gurumoorthi *et al.*, 2007.

*** Fuente: Siddhuraju y Becker, 2005.

**** No reportado.

Fuente: Adebawale *et al.*, 2005.

1.4.1 L-Dopa

La L-Dopa o L-3,4- dihidroxifenilalanina es un compuesto aminoacídico no proteico precursor del neurotransmisor dopamina. El contenido de dopamina se reduce en el cerebro debido al bloqueo que sufre en su travesía causado por barreras de sangre y que le impiden alcanzar su sitio de acción. La L-Dopa cruza esta barrera y se convierte en dopamina continuando con la neurotransmisión (Kulhalli, 1999). Este compuesto es farmacológicamente activo, por lo cual está siendo usado para tratar los síntomas de la enfermedad de Parkinson (Nagashaya *et al.*, 2000; Prakash y Tewari, 1999; Shaw y Bera, 1993). Esta es una enfermedad neurodegenerativa progresiva causada por el desbalance de la dopamina y la acetilcolina en el cerebro (Quinn, 1987). Cuando se usa para tratar esta enfermedad, se ha reportado que produce alucinaciones serias, disquinesias, además de trastornos gastrointestinales como náuseas, vómito y anorexia (Buckles, 1995; Infante *et al.*, 1990). Este compuesto ha demostrado ser tóxico para individuos con deficiencia de glucosa-6-fosfato deshidrogenasa en sus eritrocitos, dando como resultado la inducción al favismo con síntomas como dolores de cabeza severos, palpitaciones, confusión y agitación (Nechama y Edward, 1967). En animales monogástricos causa desórdenes reproductivos, efectos teratogénicos y daños en órganos (Del Carmen *et al.*, 1999).

La presencia de L-Dopa fue reportada inicialmente en *Vicia faba* (Apaydin, 2000) y posteriormente se encontró en *Phanera Pileostigma*, *Cassia*, *Canavalia*, *Dalbergia*, etc. Sin embargo, una cantidad más alta de L-Dopa es observada sólo en especies de *Mucuna pruriens* (Ingle, 2003).

Debido a su estructura química (Figura 1) la L-Dopa es oxidable a pH alcalino y a altas temperaturas (70-100°C) y en condiciones de suficiente humedad (Siddhuraju y Becker, 2001).

Takasaki y Kawakishi (1997) han reportado que los productos de oxidación de la L-Dopa se conjugan con los enlaces SH de la cisteína de las proteínas formando un enlace que conlleva a la polimerización de las proteínas, con la producción de moléculas altamente reactivas que reaccionan con otros componentes de la semilla y que producen compuestos coloreados que reducen la calidad de la misma como alimento. Esto se evita reduciendo el contenido de L-Dopa mediante la combinación de métodos fisicoquímicos (Martin y Esteban, 1995). Gurumoorthi *et al.*, (2008) aplicaron hidratación, germinación, cocción en microondas y tostado en *Mucuna pruriens* para la reducción de L-Dopa con buenos resultados. Se reportó que el contenido de L-Dopa en *Mucuna pruriens* sometida a un tratamiento de radiación gamma, dependiendo de la dosis administrada, presenta una disminución significativa (Bhat *et al.*, 2007). También se ha reportado la reducción de L-Dopa en *M. pruriens* utilizando los procesos de germinación e hidratación en soluciones alcalinas (Wanjekeche *et al.*, 2003).

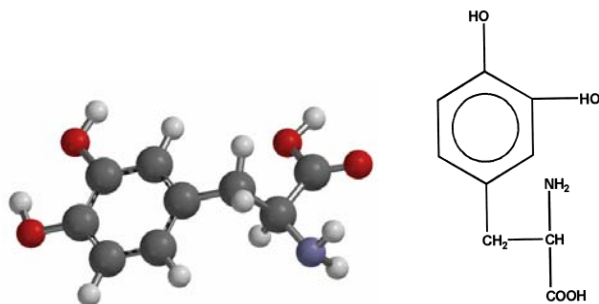


Figura 1. Representación de la molécula de L-dopa. Fuentes: www.divulgacioncientificacom.blogspot.com y Siddhuraju, 2001).

Los antiguos métodos de análisis de L-Dopa involucraban pruebas colorimétricas no específicas (Arnou, 1937; Maggi y Cometti, 1972). La separación del compuesto usando una columna cromatográfica siguió a la cuantificación por espectrofotometría ultravioleta (Daxenbicher *et al.*, 1972) y, recientemente, se desarrolló un método de estimación por medio de un analizador de aminoácidos (Prakash y Tewari, 1999). Actualmente, el método más utilizado es la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en fase inversa, debido a que es capaz de detectar este compuesto a concentraciones tan bajas como 0,1 µg/ ml (Siddhuraju y Becker, 2001).

1.4.2 Fenoles

Los fenoles son aquellos productos biosintetizados en las plantas que poseen la característica biológica de ser productos secundarios de su metabolismo, y la característica química de contener al menos un grupo fenol (un anillo aromático unido a al menos un grupo funcional hidroxilo) en su estructura molecular (Figura 2). En general, son sintetizados por una de dos vías biosintéticas; la vía del ácido shikímico o la vía del ácido malónico (o por las dos, por ejemplo los flavonoides). Son producidos principalmente para proteger a las plantas de situaciones de estrés como fotooxidación, heridas, luz UV, enfermedades, patógenos y plagas (Dixon *et al.*, 1994).

Los fenoles forman complejos proteína-carbohidrato causando interferencia con la digestibilidad de proteínas y carbohidratos. Se ha reportado que los compuestos fenólicos están relacionados con la dureza de leguminosas (García *et al.*, 1998; Liu, 1995; Maurer *et al.*, 2004). También se ha relacionado la disminución de fenoles con su oxidación a altas temperaturas afectando positivamente la permeabilidad de las semillas (Marbach y Mayer, 1974) y permitiendo la reducción de la dureza de éstas (Nassar-Abbas *et al.*, 2008).

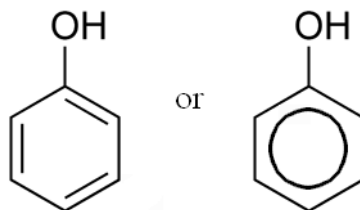


Figura 2. Estructura química del Fenol. Fuente: Albany College of Pharmacy and Health Sciences.2007.

La concentración de fenoles en las especies de *Mucuna* están en un intervalo de 4,34 a 7,75 % (Adebowale, 2005). Se ha reportado que los fenoles se concentran en la cáscara de las leguminosas y al descascararlas se reduce significativamente el contenido de estos antinutrientes (Saharan, 1994). Como los fenoles están en la periferia de la semilla, la hidratación puede disminuir su concentración (Jood *et al.*, 1987). Siddhuraju *et al.* (2000) han reportado que un 80% de los fenoles totales pueden ser removidos por el descascarillado o por hidratación seguida de irradiación. La cocción normal y la cocción a presión que involucran tratamiento térmico en condiciones de alta humedad, pueden destruir los polifenoles (Preet y Punia, 2000). Giami y Okwechime (1993) reportan una relación inversamente proporcional entre la concentración de fenoles totales y el tiempo de cocción en *Vigna unguiculata*. Además, la germinación reduce el contenido de fenoles

(Kataria *et al.*, 1989). Esta disminución puede estar relacionada con la presencia del enzima polifenol oxidasa y la hidrólisis enzimática (Jood *et al.*, 1987).

1.4.3 Taninos

Los taninos son metabolitos secundarios de las plantas, no nitrogenados, solubles en agua e insolubles en alcohol y solventes orgánicos. En las plantas cumplen funciones de defensa contra los microorganismos, ayudando a prevenir los ataques de hongos y bacterias patógenos.

Los taninos en general son toxinas que reducen significativamente el crecimiento y la supervivencia de muchos herbívoros cuando se adicionan a su dieta. Además, tienen potencial de producir rechazo al alimento ("antifeedants" o "feeding repellents") en una gran diversidad de animales. Los mamíferos como la vaca, el ciervo y el simio característicamente evitan a las plantas o partes de las plantas con alto contenido de taninos. Estos compuestos naturales polifenólicos forman complejos con proteínas, carbohidratos y otros polímeros del alimento. Son capaces de precipitar alcaloides, gelatinas y otras proteínas en soluciones acuosas (Jansman, 1993).

Por su estructura y reactividad hacia los agentes hidrolíticos se clasifican en dos grupos; taninos hidrolizables y taninos condensados. Los primeros o galotaninos son polímeros heterogéneos formados por ácidos fenólicos, en particular ácido gálico (Figura 3), y azúcares simples. Son más pequeños que los taninos condensados y son hidrolizados con mayor facilidad. Por otro lado, los taninos condensados (proantocianidinas) son polímeros, no susceptibles a hidrólisis pero pueden ser degradados oxidativamente en ácidos fuertes para producir antocianidinas. Existen reportes sobre su degradación en los procesos de fermentación anaeróbica (Butler y Bos, 1993, Kumar y D'Mello, 1995).

Los taninos tienen efectos nutricionales adversos. Pueden inhibir las enzimas digestivas y forman complejos con las membranas mucosas, lo cual resulta en el aumento de pérdidas endógenas y en daños a las mismas (Linier, 1989). Los complejos taninos-proteína son insolubles y esto disminuye la digestibilidad de las proteínas (Carnovale *et al.*, 1991). En conjunto, decrece la digestibilidad de los nutrientes nitrogenados y en menor medida la de la energía. Por otro lado, se reporta que los taninos hidrolizables podrían causar efectos tóxicos a nivel sistémico (Huisman y Tolman, 1992, Jansman, 1993, Butler y Bos, 1993).

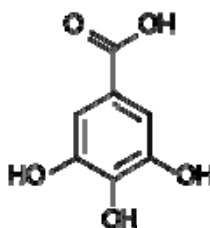


Figura 3. Estructura química del ácido gálico, un tanino. Fuente: Wrenn, 2008.

Los taninos se concentran principalmente en la cáscara de la semilla, por lo tanto, el descascarillado disminuye su concentración (Mary Josephine y Janardhanan, 1992).

El procedimiento para extraer los taninos de las plantas comienza con la molienda, que puede ser de tipo artesanal o industrial. En la extracción de tipo artesanal, las plantas se someten a una hidratación en agua por varios días con cambio diario del agua de hidratación. En el procedimiento de tipo industrial, se encuentra difusión en tanque abierto, colado, cocción, autoclave y lixiviación.

1.4.5 Inhibidores de tripsina

Los inhibidores de tripsina (TIA) son proteínas que están presentes en cantidades considerables en las leguminosas, y es conocido que afectan la digestibilidad de las proteínas porque reducen la actividad de las proteasas ya que forman complejos con ellas y no las dejan actuar, causando hipertrofia/hiperplasia pancreática y secreción incrementada de enzimas pancreáticas (Liener, 1994). También producen nódulos acinares y depresión del crecimiento en animales monogástricos (Belmar y Nava, 2000).

La pérdida de los inhibidores de tripsina durante la hidratación puede ser causada por el cambio de gradiente de concentración que cambia la tasa de difusión. Generalmente los inhibidores de tripsina son proteínas de bajo peso molecular, por lo tanto, ellas pasan fácilmente de la semilla al medio de hidratación (Bishnoi y Khetarpaul, 1994). El tratamiento térmico como la cocción normal y la cocción a presión causan una reducción significativa en el contenido de TIA. Esta reducción puede ser causada por la naturaleza termolábil de estos antinutrientes (Grewal y Jood, 2006). La germinación de la semilla causa una reducción significativa en el contenido de TIA. Esto puede ser ocasionado por la movilización y rompimiento de los constituyentes químicos incluyendo los inhibidores de tripsina.

1.5 MÉTODOS DE PROCESAMIENTO

La aceptabilidad de las leguminosas está influenciada por varios factores que incluyen el desarrollo de nuevas técnicas y metodologías para la manufactura, poscosecha, procesamiento, preservación y vida útil de los alimentos (Senorans *et al.*, 2003). La inactivación o remoción de los componentes indeseables es necesaria para mejorar la calidad nutricional y la aceptabilidad organoléptica de las leguminosas y para ayudar a utilizarlas de forma efectiva en el consumo humano y animal. En varios casos, la utilización de un solo método no es efectiva para la remoción deseada de los factores antinutricionales, y se requiere de la combinación de dos o más procesos (Joseph, 1993; Martin y Esteban, 1995). Los tratamientos hidrotérmicos, el tostado y la germinación han mostrado ser efectivos en la reducción de los factores antinutricionales de las semillas de *Mucuna* (Siddhuraju y Becker, 2001; Wanjenke *et al.*, 2003) debido a la degradación térmica y química de estos compuestos.

1.5.1 Tostado

El tostado desactiva los inhibidores de tripsina en *Cicer arietinum* debido a que este tratamiento térmico cambia la configuración de las proteínas de estos antinutrientes afectando su actividad (Márquez *et al.*, 1998). Se ha observado la reducción de L-Dopa en *Mucuna pruriens* (16-34%) debido posiblemente a la oxidación parcial o racemización de este compuesto (Gurumoorthi *et al.*, 2008).

1.5.2 Hidratación

El proceso de hidratación reduce los niveles de antinutrientes de las leguminosas debido a la solubilidad de éstos en el agua. La hidratación en agua destilada no reduce significativamente el contenido de L-Dopa en *M. pruriens*, mientras que la hidratación en soluciones alcalinas si la disminuyen (Gurumoorthi *et al.*, 2008). Los niveles de inhibidores de tripsina, taninos, ácido fítico y saponinas en frijoles rojos fueron afectados por la hidratación en agua destilada (Admassu y Kumar, 2007). Resultados similares se encontraron en trabajos previos realizados en frijol caupí (Wang *et al.*, 1997).

1.5.3 Cocción

Los métodos tradicionales de procesamiento que incluyen la cocción de leguminosas, han sido desarrollados para proveer productos seguros y nutritivos.

La cocción reduce, inactiva y/o destruye los factores antinutricionales de origen proteínico (inhibidores de tripsina, lectinas y saponinas) a niveles indetectables y mejora la digestibilidad de las proteínas en las leguminosas, aunque también reduce la calidad de la proteína por pérdida de algunos aminoácidos esenciales

(Khokar y Chanhan, 1986). La reducción del contenido de cisteína y triptófano ocasionada por una cocción prolongada es reportada por Ziena *et al.* (1991) y Khalil y Mansour (1995) en habas. Con el fin de mantener el valor nutricional de las leguminosas sometidas a tratamiento térmico, es necesario que la temperatura de calentamiento y la duración del tratamiento, no excedan la temperatura óptima requerida para eliminar el efecto de los antinutrientes sin la alteración de los nutrientes básicos.

1.5.4 Germinación

La germinación es el reinicio del crecimiento del embrión contenido en una semilla, paralizado durante las fases finales de la maduración. Los procesos fisiológicos de crecimiento exigen actividades metabólicas aceleradas y la fase inicial de la germinación consiste primariamente en la activación de los procesos por aumentos en humedad y actividad respiratoria de la semilla (Irizarry, 2009). La germinación ha sido identificada como una tecnología de costo bajo y económica para mejorar la calidad de las legumbres debido a que aumenta su digestibilidad incrementando el contenido de aminoácidos (Chang *et al.*, 2006) y reduciendo los niveles de antinutrientes (Vidal-Valverde *et al.*, 2002). Se ha utilizado la germinación de las semillas para mejorar la calidad nutricional de las leguminosas. Esto se debe principalmente al rompimiento de macromoléculas complejas, como el almidón y proteínas, en moléculas más pequeñas y digeribles, mientras que al mismo tiempo reduce la cantidad de antinutrientes (Chang y Harrold, 1988; Labaneiah y Luh, 1981). Kataria *et al.*, (1989) encontraron que la hidratación seguida por la germinación durante 60 horas reducía los niveles de polifenoles en fríjol mungo. Los inhibidores de tripsina en fríjol rojo se redujeron en un 18% (Admassu y Kumar, 2007). La reducción del contenido de taninos durante la germinación puede ser ocasionada principalmente por la solubilidad de estos antinutrientes en el agua (Sharma y Sehgal, 1992).

1.6 ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES

1.6.1 Requerimientos nutricionales del animal

Los animales requieren una diversidad de nutrientes para su mantenimiento y propósitos productivos. Los nutrientes requeridos por el animal se pueden agrupar en cinco categorías: energía, proteína, minerales, vitaminas y el agua. Desde el punto de vista cuantitativo, los requerimientos de agua son los mayores, seguidos por los requerimientos de energía y proteína. En cambio, las vitaminas y los minerales son requeridos en cantidades muy pequeñas. Algunas veces, bajo condiciones prácticas, se hace demasiado énfasis en la suplementación mineral y vitamínica, dejándose un tanto de lado el problema mayor y más frecuente que es el energético- proteico (CATIE, 1982).

1.6.1.1 Agua

El animal sufre más rápidamente por falta de agua que por la deficiencia de cualquier otro nutriente. Entre las funciones del agua, que es el constituyente más importante en casi todos los tejidos del animal (representa la mitad a un 75% de la masa corporal en el animal adulto y puede representar hasta un 90% en el animal recién nacido), se pueden citar; como componente importante de la sangre y la linfa, el agua cumple un papel importante en el transporte de nutrientes por todo el cuerpo; su capacidad de solvente y su uso como sustrato permite que ocurran una serie de reacciones relacionadas con la utilización de los otros nutrientes en el animal; cumple un papel de limpieza del organismo eliminando mediante la orina productos finales del metabolismo y regulación de la temperatura corporal del animal. El agua requerida por el animal puede ser provista de diferentes maneras: en la bebida, como parte de los constituyentes de los alimentos, el agua metabólica producida por la oxidación de los nutrientes, agua liberada de reacciones de polimerización tales como la condensación de aminoácidos a péptidos y agua preformada y contenida en los tejidos (CATIE, 1982).

1.6.1.2 Energía

El animal utiliza la energía para diversas funciones corporales. Una cierta proporción es utilizada para el mantenimiento de los tejidos corporales, en los cuales, constantemente se producen las diferentes reacciones químicas necesarias para el mantenimiento de la vida. Esta energía es suministrada por las grasas y los carbohidratos (CATIE, 1982).

1.6.1.3 Proteína

Los rumiantes tienen la capacidad de utilizar nitrógeno no proteico (NNP) para sintetizar proteína, gracias a la acción de los microorganismos en el rumen. Es más, buena parte de la proteína dietética es hidrolizada a nivel ruminal hasta NNP, para que luego éste sea utilizado en la síntesis de proteína microbiana, la cual a su vez es degradada posteriormente en el cuarto estómago y en el intestino delgado. Hay requerimientos proteicos para el mantenimiento, crecimiento, reproducción y producción de leche. En cuanto a los requerimientos de mantenimiento, tanto los tejidos corporales, como las enzimas y algunas hormonas son proteínas, las cuales necesitan ser repuestas como consecuencia de su degeneración normal. Para que un animal permanezca en balance proteico, las proteínas perdidas a través de los procesos de digestión y metabolismo del alimento, en la caída del pelo y en las descamaciones de la piel tienen que ser reemplazadas. La magnitud de las pérdidas depende del tamaño del animal, del tipo y cantidad de alimento ingerido y de la calidad de la proteína. En cuanto a los requerimientos de crecimiento, se debe recordar que en gran medida la ganancia

de peso en animales jóvenes es en forma de proteína y agua en el tejido muscular y en los órganos (CATIE, 1982).

1.6.2 Concentrados a base de *Mucuna*

La *M. pruriens* ha sido utilizada en la alimentación animal debido a su alto contenido de proteína (Topps y Oliver, 1993). Sin embargo, la alimentación con *Mucuna* en animales monogástricos reduce el consumo de alimento, el peso del cuerpo, la conversión eficiente del alimento y aumenta la mortalidad (Del Carmen *et al.*, 1999; Flores *et al.*, 2002). Esto es debido a la presencia de la L-Dopa en una concentración de 2,0-9,0%, la cual compromete el desarrollo de los animales no rumiantes y también por la presencia de otros antinutrientes como inhibidores de tripsina, ácido fítico y saponinas (Szabo y Tebbett, 2002; Del Carmen *et al.*, 2002, Siddhuraju *et al.*, 1996). Sin embargo, la mayoría de los estudios en alimentación animal se enfocan en la L-Dopa. Del Carmen *et al.* (2002) reportaron una reducción progresiva en el peso vivo y el peso de la canal cuando adicionaron de 10 a 30 g/100 g de semillas de *Mucuna* sin ningún tratamiento a las raciones de pollos de engorde. Flores *et al.* (2002) demostraron una reducción en la ganancia del peso vivo, la alimentación, la relación de conversión alimenticia (FCR) y el apetito con la sustitución de la harina de soya en dietas en cerdos con semillas de *Mucuna*.

Sin embargo, algunas investigaciones con cabras, ovejas y bovinos han indicado que la inclusión de algunas variedades de *Mucuna* en las dietas de rumiantes mejora la ingestión y digestibilidad, promueve el peso vivo y la producción de leche sin los efectos negativos observados comúnmente en monogástricos y humanos (Muinga *et al.*, 2003; Eilitta *et al.*, 2003, Matenga *et al.*, 2003, Perez-Hernandez *et al.*, 2003)

Chikagwa-Malunga *et al.* (2009) reportaron que la sustitución de harina de soya por *Mucuna pruriens* no afectó las concentraciones de L-Dopa en el fluido ruminal, la sangre o el tejido muscular de corderos. Se confirmó el metabolismo total de la L-Dopa y no hubo evidencias de su acumulación en el tejido muscular. Los corderos alimentados con *Mucuna* tampoco presentaron efectos adversos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

Se utilizaron semillas de vitabosa (*Mucuna deeringiana*) provenientes del Centro Agropecuario Cotové de la Universidad Nacional de Colombia ubicado en Santa Fe de Antioquia. Las semillas se recolectaron cuatro meses después de la floración cuando se desarrollaron por completo en la vaina, de tal modo que se pudieron desgranar fácilmente. Para todos los ensayos se dispuso de una muestra representativa de 25 kg de semilla, previamente sometida a un proceso de limpieza de impurezas y clasificación por tamaño (Figura 5). Los reactivos utilizados, L-Dopa (Alfa Aesar), Tripsina (EC 3.4.21.4, Sigma), Catequina (Sigma), Benzoil DL-arginina-p-nitroanilina (BAPNA, Sigma) y Ácido gálico (Sigma), fueron de grado analítico.



Figura 4. Semilla de Vitabosa (*Mucuna deeringiana*).

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Caracterización de la semilla

Las semillas de vitabosa recolectadas fueron sometidas a un proceso de limpieza y selección. Seguidamente se realizó una reducción de tamaño hasta 0,5 mm en un molino de martillos. La harina obtenida se almacenó en bolsas plásticas con cierre hermético a temperatura ambiente (25°C) hasta su posterior análisis fisicoquímico.

2.2.1.1 Evaluación Proximal

Para establecer la composición proximal de la semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*) se cuantificó el contenido de humedad, grasa cruda, fibra cruda, proteína cruda, cenizas y Extracto libre de Nitrógeno de la muestra. Cada análisis se realizó por triplicado. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

- Humedad

Para determinar el contenido de humedad de la semilla recolectada se utilizó el método oficial 925.10 modificado (AOAC, 2000). En este análisis se utilizó una cápsula seca (105 °C/1 h) y tarada, sobre la cual se pesaron 5,0 g de las semillas de vitabosa sin ningún tratamiento. La muestra se colocó en una estufa a 105 °C por cuatro horas, se dejó enfriar en desecador y se pesó el conjunto hasta un valor constante. El contenido de humedad se calculó de acuerdo con las ecuaciones 1 y 2.

$$\%MS = \frac{Pf - Pi}{PM} * 100 \quad (1)$$

$$\%H = 100 - \%MS \quad (2)$$

Donde: % MS = Materia seca (%), Pi = peso inicial del crisol vacío (g), Pf = peso final del crisol luego del tratamiento (g), PM = peso de la muestra (g), %H = Humedad en base húmeda (%).

- Grasa cruda

Se utilizó el método oficial 920.39 C modificado (AOAC, 2000). Se pesaron $1,0 \pm 0,1$ g de harina de vitabosa en un papel filtro y se colocó en el dedal en el equipo de extracción Soxhlet (Velp Scientifica, SER 148/3). Seguidamente, sobre un crisol de vidrio, seco y tarado, se adicionaron 70 mL de éter de petróleo y se sometió la muestra a sucesivos ciclos de extracción durante una hora. Luego, se evaporó el solvente y el crisol con la grasa extraída se colocó en el desecador hasta peso constante. Para determinar el porcentaje de grasa (%G) se utilizó la ecuación (3).

$$\%GC = \frac{Pf - Pi}{PM} * 100 \quad (3)$$

Donde: % GC = Grasa Cruda (%), Pi = peso inicial del crisol vacío (g), Pf = peso final del crisol luego del tratamiento (g), PM = peso de la muestra (g).

- Proteína cruda

Se empleó el método oficial 960.52 modificado (AOAC, 2000). Se tomó $1,0 \pm 0,1$ g de muestra y se adicionó en un tubo Kjendahl que contenía: 3,5 g de sulfato de potasio anhidro; 1,0 g de sulfato de cobre pentahidratado y 15 mL de ácido sulfúrico concentrado (98%). La mezcla se sometió a digestión por 30 minutos a 420°C (es lo sugerido por el equipo, aunque se puede colocar en una manta de calentamiento hasta que el color sea transparente). Posteriormente en un tubo de destilación se adicionó, sobre la mezcla fría, 50 mL de agua destilada y 50 mL de hidróxido de sodio al 35 % y se procedió con la destilación. Se recogieron 100 mL destilado sobre 25 mL de ácido bórico al 4%. Luego, el destilado obtenido se tituló con ácido clorhídrico 0,2 M en presencia de indicador Tashiro. Para determinar el contenido de proteína cruda (%P) se utilizaron las ecuaciones (4) y (5).

$$\%NT = \frac{V_1 * M_1 * 0,014}{PM} * 100 \quad (4)$$

$$\%PC = \%NT * 6,25 \quad (5)$$

Donde: % NT = Nitrógeno total (%), V_1 = volumen de HC 0,2 M (mL), M_1 = molaridad del HCl (M), 0,014 = miliequivalentes del nitrógeno, PM: peso de la muestra (g), %PC= Proteína cruda (%).

- Fibra Cruda

Se usó el método oficial 962.09 modificado (AOAC, 2000). Sobre un crisol previamente secado ($105^{\circ}\text{C}/1$ h) y tarado se pesó $1,0 \pm 0,1$ g de la harina preparada previamente. Seguidamente se colocó el crisol en el equipo de extracción de fibra (Velp Scientifica, FIWE 3) y se inició la hidrólisis ácida en presencia de 150 mL de ácido sulfúrico 0,664 M durante 30 minutos. Luego, se retiró el ácido y se lavó el residuo con agua destilada caliente (300 mL). La hidrólisis básica se realizó durante 30 minutos con 150 mL de hidróxido de potasio 0,553 M. Luego de la eliminación del hidróxido y el lavado del residuo con agua, se retiró la muestra del equipo y se secó en estufa a 105°C durante una hora. Finalmente se colocó en el desecador hasta obtener un peso constante. Para la determinación de fibra cruda (%F) se utilizó la ecuación (6).

$$\%FC = \frac{Pf - Pi}{PM} * 100 \quad (6)$$

Donde: % FC = Fibra Cruda (%), Pi = peso inicial del crisol vacío (g), Pf = peso final del crisol luego del tratamiento (g), PM = peso de la muestra (g).

- Cenizas

Se utilizó el método oficial 923.03 (AOAC, 2000). Sobre un crisol seco (550 °C/1 h) y tarado se pesaron $5,0 \pm 0,1$ g de la harina y el conjunto se colocó en la mufla a 550 °C por una hora. Luego de enfriar la muestra en desecador, se pesó hasta obtener un valor constante. Para la determinación de cenizas (%C) se usó la ecuación (7).

$$\%C = \frac{Pf - Pi}{PM} * 100 \quad (7)$$

Donde: % C = Cenizas (%), Pi = peso inicial del crisol vacío (g), Pf = peso final del crisol luego del tratamiento (g), PM = peso de la muestra (g).

- Extracto libre de nitrógeno (ELN)

El extracto libre de nitrógeno (carbohidratos mayoritariamente) se determinó por diferencia. Se utilizó la siguiente ecuación (8):

$$\%ELN = 100 - \%H - \%PC - \%GC - \%FC - \%C \quad (8)$$

Donde: % ELN = Extracto Libre de Nitrógeno (%), % H = Humedad (%), % PC = Proteína cruda (%), % GC = Grasa cruda (%), % FC = Fibra cruda (%), % C = Cenizas (%).

2.2.1.2 Cuantificación de Factores Antinutricionales

Para establecer el contenido de antinutrientes se determinó la cantidad de L-Dopa, fenoles totales, taninos e inhibidores de tripsina presentes en la semilla de vitabosa. Los análisis se hicieron por triplicado, excepto la cuantificación de L-Dopa que se realizó por duplicado.

- Extracción y cuantificación de L-Dopa

Extracción: la extracción de la L-Dopa fue llevada a cabo utilizando el método descrito por Daxenbichler *et al.* (1971) en diferentes especies de *Mucuna*. Se colocaron 500 mg de harina de vitabosa, previamente desengrasada, en un tubo de ensayo con 5 mL de HCl 0,1 M y se sometió a baño de vapor por 5 minutos. Luego de su enfriamiento, la muestra fue agitada vigorosamente con etanol (3x10 mL) y se centrifugó a 3500 rpm durante 20 minutos. Los sobrenadantes recogidos se llevaron a un volumen de 50 mL con etanol. Todas las muestras fueron analizadas después de su preparación.

Cuantificación: La cuantificación de la L-Dopa en los extractos de vitabosa fue determinada mediante Cromatografía Líquida de alta Eficiencia (HPLC) en un equipo (Shimadzu serie 204 Prominence, Japón) provisto de una columna C-18 (250 x 4,6 mm, con un tamaño de partícula de 120 Å) y detector con arreglo de diodos. Como fase móvil se utilizó una mezcla de metanol: agua (70:30) a un pH de 3,0 (ácido fosfórico) con un flujo de 1,0 mL/min y una temperatura de 33 °C. La detección del analito se llevó a cabo a una longitud de onda de 280 nm. El volumen de inyección fue de 20 µL. El contenido de L-Dopa fue determinado de acuerdo con la curva de calibración a concentraciones en el rango de 200-1000 µg/mL (Anexo A) con referencia al patrón (Alfa Aesar) usando el software de cromatografía LC Solution®.

- Extracción y Cuantificación de Fenoles Totales

Extracción: Los fenoles totales de las semillas fueron extraídos y cuantificados según el método descrito por Rosset *et al.* (1982) y utilizado por Bhat (2007) en el análisis de fenoles de *Mucuna pruriens*. Para la extracción de los fenoles totales de la harina de vitabosa se pesó un gramo de harina, se dispersó en 50 mL de metanol acidificado (1% HCl v/v) y se agitó durante 24 horas. Seguidamente, se centrifugó a 3500 g por 20 minutos y el sobrenadante obtenido se llevó a 100 mL con metanol.

Cuantificación: La cuantificación de fenoles se llevó a cabo utilizando el método de Folin-Ciocalteu utilizado por Kumazawa *et al.* (2004). Se mezclaron 0,5 mL del extracto metanólico de la vitabosa y se mezclaron con 0,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu. Después de 8 minutos en reposo se adicionó 0,5 mL de carbonato de sodio al 10% y se dejó una hora de incubación a temperatura ambiente. Posteriormente, se leyó la absorbancia de la disolución a 760 nm en un espectrofotómetro ultravioleta-visible (Shimadzu, UV-1800). El contenido de fenoles se expresó como g/100 g de muestra de acuerdo con la curva de calibración construida para ácido gálico (50-250 µg/mL) (Anexo B).

- Extracción y Cuantificación de Taninos

Extracción: Para la extracción y cuantificación de taninos, se utilizó el método de vainillina-HCl, reportado por Burns (1971) y utilizado por Bhat *et al.* (2007) para la determinación de taninos en *M. pruriens*. Para la extracción de los fenoles totales de la harina de vitabosa se pesó un gramo de harina, se dispersó en 50 mL de metanol acidificado (1% HCl v/v) y se agitó durante 24 horas. Seguidamente, se centrifugó a 3500 g por 20 minutos y el sobrenadante obtenido se llevó a 100 mL con metanol.

Cuantificación: A 1,0 mL de extracto metanólico se adicionó 5 mL de una mezcla de reacción (vainillina al 4% en metanol y HCl al 8% en metanol 1:1). El color

desarrollado, después de 20 minutos, fue leído a 500 nm. El contenido de taninos fue expresado como g/100 g de muestra usando una curva de calibración de catequina como estándar (50-250 ug/ mL) (Anexo B).

- Inhibidores de tripsina

Obtención de los extractos: Los extractos se obtuvieron de acuerdo con la técnica utilizada por Adebowale *et al.* (2005) en seis especies de *Mucuna*. Muestras desengrasadas de harina (0,25 g) fueron extraídas por 5 minutos con NaOH 0,01 M a pH de 9,5 en un macerador. El contenido fue centrifugado a 3800 rpm durante 20 minutos y el sobrenadante obtenido se aforó a 25 mL con agua destilada.

Cuantificación de los inhibidores de tripsina: se determinó por el método utilizado por Gómez *et al.* (1998) utilizando como sustrato el Benzoil DL-arginina-p-nitroanilina (BAPNA). A 0,25 mL de extracto se adicionó 1,75 mL de una disolución de sustrato (30 mg de BAPNA disueltos en 1 mL de dimetil sulfóxido y llevados a 100 mL con buffer 0,05 M de TRIS a pH 8,2) y 0,25 mL de disolución de tripsina (0,005 % de tripsina disuelta en HCl 1 mM). Para cada uno de los tubos se preparó un blanco, al cual se le agregó 0,25 mL de ácido acético al 30% antes de agregar la enzima. Luego de 10 minutos de incubación a 37°C se detuvo la reacción con 0,25 mL de ácido acético al 30% y se determinó el producto de la reacción leyendo la absorbancia a 410 nm. El patrón de 100% de actividad de tripsina se preparó utilizando la misma cantidad de enzima y de sustrato, y agregando agua en lugar del extracto respectivo. La inhibición de la actividad de tripsina se expresó en Unidades de Tripsina Inhibidas (TUI) por gramo de muestra, la cual se calculó de acuerdo con la ecuación (5).

$$TUI = [AM - AB] * 100 \text{ #####(5)}$$

Donde: *TUI* = Unidades de tripsina inhibidas, *AM* = Absorbancia muestra, *AB* = Absorbancia blanco.#

2.2.2 Aplicación de los tratamientos fisicoquímicos

Para la reducción de los diferentes factores antinutricionales de la semilla de vitabosa, se tomaron como base las condiciones de los diferentes métodos de procesamiento utilizados por Gurumoorthi *et al.* (2008) para *Mucuna pruriens*. Considerando que en *M. deeringiana* no se conocían reportes de aplicación de tratamientos en la reducción de FAN se decidió, dentro del alcance de la presente investigación, aplicar los mejores tratamientos del trabajo de Gurumoorthi *et al.* (2008) para evaluar su efecto en la vitabosa, producto de este estudio exploratorio se podrían estudiar, posteriormente, la combinación de otros tratamientos. Las

semillas fueron sometidas a tratamientos como: tostado, hidratación en diferentes soluciones, hidratación y cocción, y germinación.

2.2.2.1 Tratamiento Control (C)

El tratamiento usado como control fue una muestra de 250 g de semillas de vitabosa a la cual se le realizó el análisis proximal explicado en el numeral 2.2.1.

2.2.2.2 Tostado (T)

Las semillas (250 g) fueron colocadas en un horno (Thermolab, Modelo DIES) y se mezclaron con arena fina para prevenir el quemado de la cáscara. El material fue tostado por 15, 30 y 60 minutos a 120 °C. La arena y las semillas fueron separadas por cernido y los granos de vitabosa se enfriaron a temperatura ambiente. Luego se realizó una reducción de tamaño hasta 0,5 mm mediante un molino de martillos. La harina obtenida se almacenó en bolsas plásticas con cierre hermético a temperatura ambiente (25°C) para su posterior análisis fisicoquímico.

2.2.2.3 Hidratación (H)

Las semillas (250 g) fueron hidratadas en alguna de las siguientes disoluciones: agua potable, solución de bicarbonato de sodio (0,1 g/100 mL, pH 8,5), solución de hidróxido de calcio (0,1 g/100 mL, pH 8,8) y solución de cloruro de sodio (0,1 g/100 mL pH 8,2) por 24 horas a 25°C. La proporción de semilla y solución fue de 10 g/100 mL. Las soluciones fueron drenadas y las semillas lavadas y secadas a 55°C durante 48 horas. La reducción de tamaño y el almacenamiento de la semilla se realizaron según lo descrito anteriormente.

2.2.2.4 Hidratación y Cocción (HYC)

Las semillas (250 g) fueron hidratadas en agua destilada (10 g/100 mL) por 24 horas a temperatura ambiente. El agua fue descartada y las semillas se sometieron a cocción en agua potable (100°C) en una proporción de 10 g/100 mL por 60 minutos. Posteriormente, las semillas se lavaron y secaron a 55°C por 48 horas. La reducción de tamaño y el almacenamiento de la semilla se realizaron según lo descrito anteriormente.

2.2.2.5 Germinación (G120)

Las semillas (250 g) fueron esterilizadas con hipoclorito de sodio al 0,7%, lavadas e hidratadas en agua destilada a 4°C por 12 horas. Luego fueron ubicadas en una doble capa de papel filtro en cajas de petri esterilizadas e incubadas a 30°C, y se dejaron germinar por 120 horas (Figura 5). Las semillas se hidrataron con agua destilada regularmente en intervalos de 12 horas. Las semillas germinadas fueron

lavadas con agua destilada, secadas a 55°C por 48 horas. La reducción de tamaño y el almacenamiento de la semilla se realizaron según lo descrito anteriormente.



Figura 5. Vitabosa germinada.

En la Tabla 5 se resumen los tratamientos evaluados.

Tabla 5. Tratamientos fisicoquímicos evaluados

TRATAMIENTO	
Control	C
Tostado 15 minutos	T15
Tostado 30 minutos	T30
Tostado 60 minutos	T60
Hidratación agua potable	HA
Hidratación Bicarbonato de sodio	HB
Hidratación hidróxido de calcio	HCA
Hidratación cloruro de sodio	HCL
Hidratación y cocción	HYC
Germinación 120 horas	G120

2.2.3 Evaluación de los tratamientos

La efectividad de los tratamientos, anteriormente indicados, fue establecida de acuerdo con el contenido de L-Dopa, fenoles totales, taninos e inhibidores de tripsina según los procedimientos detallados en el numeral 2.2.1.2. Cada valor se comparó con el contenido del antinutriente en la semilla sin tratamiento, y se obtuvo un porcentaje de reducción determinado con la ecuación (6):

$$\%R = \frac{(\%AST - \%AT)}{\%AST} * 100 \quad (6)$$

Donde: R = Reducción (%), AST = cantidad de antinutriente en la semilla sin tratamiento (%), AT= cantidad de antinutriente en la semilla con tratamiento (%).

2.2.4 Selección de los mejores tratamientos

Para la selección de los mejores tratamientos se elaboró una tabla (véase Tabla 19) de comparación entre éstos y el porcentaje de reducción de antinutrientes que cada uno alcanzó. Luego se colocó una numeración de 1-9 según el puesto o grado de reducción de un tratamiento respecto a los otros en un antinutriente determinado. Finalmente, con el valor de la posición se calculó un promedio y mediante éste se determinaron los tratamientos que mostraron mayor grado de reducción de los antinutrientes. Si dos tratamientos quedaban con el mismo valor, la diferencia se definió por el mayor nivel de reducción de la L-Dopa debido a que es uno de los principales antinutrientes de la *Mucuna* (Gurumoorthi *et al.*, 2008). Con estos resultados se realizó una prueba de comparación múltiple para determinar la diferencia entre estos y realizar su selección. También a los tratamientos seleccionados se les realizó un análisis proximal, siguiendo la metodología descrita en 2.2.1.1, para determinar la influencia de éstos en la composición nutricional de la semilla.

2.2.5 Análisis Estadístico

Las diferencias significativas entre las medias, tanto de los análisis proximales como de los factores antinutricionales, se calcularon mediante el análisis de varianza de una vía y una prueba de comparación múltiple (diferencia mínima significativa de Fisher) con un nivel de significancia del 5 %. Se utilizó el programa estadístico Statgraphics Plus 5.1®.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA SEMILLA

Los resultados de la caracterización proximal de la vitabosa (*Mucuna deeringiana*) sin tratamiento se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Caracterización de la semilla de Vitabosa (*Mucuna deeringiana*)

Parámetro (%*)	Media** ± Desviación
Humedad	12,63 ± 0,12
Proteína cruda	29,23 ± 0,46
Grasa bruta	2,37 ± 0,04
Cenizas	3,89 ± 0,03
Fibra Cruda	7,32 ± 0,03
Extracto libre de nitrógeno	44,56 ± 0,50

* En materia seca (MS).

**Los resultados están expresados como la media de determinaciones por triplicado.

El porcentaje de humedad de la semilla analizada fue alto (12,63%) comparado con otras semillas del género *Mucuna* como *M. pruriens*, 4,64%, *M. rajada*, 3,65%, *M. deeringiana*, 4,46%, *M. cochinchinensis*, 3,82% y *M. veracruz* blanca, 3,88% (Adebowale *et al.*, 2005) *M. pruriens*, 9,16% (Bhat *et al.*, 2007), *M. monosperma*, 6,5% y *M. pruriens*, 8,4% (Vadivel y Janardhanan, 2005). Esta diferencia de resultados podría ser explicada por las condiciones ambientales de la cosecha y del almacenamiento de la semilla, así como de las características genéticas de cada variedad. Cabe resaltar que la muestra analizada, al presentar un contenido más alto de humedad, puede tener una vida útil más corta que las otras semillas, ya que está más propensa al deterioro químico, enzimático y microbiológico (Man, 2004). En general, los granos del género *Mucuna* tienen una humedad más baja que otras leguminosas similares, pero al comparar los resultados de la *M. deeringiana* con los obtenidos para otras legumbres como *Canavalia ensiformis*, 8,5%, *Cassia floribunda*, 5,7%, *C. obtusifolia*, 6,8% (Vadivel y Janardhanan, 2005), *C. floribunda*, 6,0% (Vadivel y Janardhanan, 2001), *Lathyrus martimus*, 9,7% (Chavan *et al.*, 1999), *Lupin*, 6,6% (Ruiz-Lopez *et al.*, 2000) y *Vigna unguiculata*, 8,9% (Aletor y Aladetimi, 1989) se puede observar un contenido de agua más alto.

La *Mucuna deeringiana* contiene un 29,23% de proteína cruda. Este valor es inferior al encontrado en *M. pruriens* (37,5%), *M. cochinchinensis* (38,4%), *M. rajada* (33,2%), *M. veracruz* blanca (37,8%), *M. veracruz* moteada (37,9%) y *M. deeringiana* (38,2%) (Adebowale *et al.*, 2005) y *M. pruriens* (30,1%) (Siddhuraju y Becker, 2005). Esta diferencia posiblemente se debe a la divergencia de valores de humedad entre estas leguminosas (3-4%) y la vitabosa (12%), como también a factores como la composición del suelo donde fueron sembradas, la variedad, el

clima, la época de la cosecha, entre otros. Sin embargo, estos resultados se encuentran entre el rango (20,1 a 31,4%) de proteína cruda que varios investigadores han reportado para algunas variedades de *Mucuna* (Ukachukwu *et al.*, 2002; Arulmozhi y Janardhanan, 1992; Siddhuraju *et al.*, 1996). Además, la cantidad de proteína cruda hallada es más alta comparada con otras leguminosas como la *Canavalia ensiformis*, 26,8%, (Agbede y Aletor, 2005), *Vicia faba*, 24,0%, *Vigna sinensis*, 24,1%; *Cajanus cajan*, 19,2%; *Cicer arietinum*, 18,2%; *Glycine max.*, 33,4% y *Arachis hipogea*, 26,7% (Bressani, 2002); *C. floribunda*, 21,7%, *C. obtusifolia*, 20,3% (Vadivel y Janardhanan, 2005), *Phaseolus vulgaris L.*, 18,2-20,2% (Martín-Cabrejas *et al.*, 1997). Con este resultado, podría inferirse que la vitabosa puede ser promisorio como suplemento proteínico para alimentos y concentrados para animales. Entre las principales fuentes de proteína animal se encuentran la harina de carne (60%), la harina de sangre (86,3%), la harina de pescado (62,4%) (Bauza, 2009), la leche en polvo y el suero lácteo. La torta de soya (44%), la harina de semillas de algodón (50%), la harina de maní (49-52%), garbanzo (20%) y frijoles (23%) son las proteínas vegetales más usadas en alimentación animal (Pond y Maner, 1976).

El contenido de grasa bruta en *M. deeringiana* fue del 2,37%. Este resultado es bajo en comparación al contenido lipídico encontrado en *M. pruriens* (9,65%), *M. cochinchinensis* (9,69%), *M. rajada* (10,19%), *M. veracruz* blanca (9,05%), *M. veracruz* moteada (10,03%), *M. deeringiana* (8,72%) (Adebowale *et al.*, 2005) y *M. pruriens* (4,34%) (Siddhuraju y Becker, 2005). Por tanto, la vitabosa no sería una fuente adecuada de grasa en comparación con las otras semillas de *Mucuna*. Adicionalmente, el contenido graso de la vitabosa también es menor al reportado para otras leguminosas como *Canavalia ensiformis*, 4,3%, *Cassia floribunda*, 3,1%, *C. gladiata*, 3,3% y *C. obtusifolia*, 7,1% (Vadivel y Janardhanan, 2005). La grasa es una de las principales fuentes de energía para los animales. También proporciona ácidos grasos esenciales y es un vehículo para la absorción de las vitaminas liposolubles. Las deficiencias de grasa conducen a lesiones cutáneas. Las grasas animales, incluyendo el sebo, tocino, grasa de ovino y aceites de pescado, así como las grasas vegetales procedentes de plantas tales como el coco, soya, semillas de algodón, maíz, sésamo y otras, son subproductos que se pueden usar para la alimentación animal (Pond y Maner, 1976).

Respecto a la fibra cruda, la vitabosa presentó un contenido alto (7,32%) en comparación con lo reportado por Ezeagu *et al.* (2003) para *M. utilis* (4,10%), *M. rajada* (3,86%) y *M. pruriens* (3,65%); y se encuentra dentro del rango hallado por Adebowale *et al.* (2005) en *M. pruriens* (7,91%), *M. cochinchinensis* (6,89%), *M. rajada* (6,82%), *M. veracruz* blanca (6,12%), *M. veracruz* moteada (6,86%), *M. deeringiana* (5,79%). Comparando este resultado obtenido con otras leguminosas, se observa que es menor al de *Cassia floribunda*, 10,8% y *Canavalia ensiformis*, 7,7% (Vadivel y Janardhanan, 2005). La presencia de un alto contenido de fibra cruda en los alimentos es importante porque se ha reportado que esta decrece la

digestibilidad de materia seca en animales. Por lo tanto, el alto contenido de fibra cruda, es un buen indicador del valor nutritivo de los piensos (Devendra, 1995).

El contenido de cenizas de la vitabosa fue de 3,89 %. Estos resultados son más altos que lo reportado por Siddhuraju y Becker (2005) en *Mucuna pruriens* (3,52%) y en otras semillas del género *Mucuna* como *M. cochinchinensis*, 3,36%, *M. rajada*, 3,32 %, *M. veracruz* blanca, 2,91%, *M. veracruz* moteada, 2,74%, *M. pruriens*, 3,24% y *M. deeringiana*, 3,41% (Adebowale *et al.*, 2005). En *Phaseolus vulgaris* L. se reporta un contenido de cenizas entre 4,2-4,7% (Martín-Cabrejas *et al.*, 1997). El contenido de cenizas es de importancia en alimentación animal porque es un índice de calidad en los materiales utilizados para la alimentación de ganado vacuno y aves de corral de acuerdo con lo establecido por Pomeranz y Clifton (1981). El alto contenido de cenizas en la muestra analizada posiblemente esté relacionado con la composición mineral del suelo (zona árida) de siembra y/o con una adecuada fertilización del cultivo.

Aunque la porción principal de la dieta animal está constituida por energía y proteína, los minerales y las vitaminas son vitales para la normalidad de crecimiento y reproducción. Los minerales tienen funciones importantes en el organismo animal. El esqueleto y los dientes del animal están compuestos principalmente de minerales, de donde se puede derivar la importancia de suplementar los animales en crecimiento. Los minerales también son constituyentes esenciales de tejidos blandos y de líquidos del cuerpo. Ciertas reacciones químicas en el cuerpo no pueden llevarse a cabo a menos que se mantenga una concentración iónica apropiada. En el caso de producción de leche, el calcio es un mineral requerido por el animal, dada la cantidad que secreta con la leche (CATIE, 1982).

El contenido del extracto libre de nitrógeno (ELN) (conformado mayoritariamente por carbohidratos) de la *M. deeringiana* fue de 44,56%. Este resultado está dentro del rango encontrado por Adebowale *et al.* (2005) en otras semillas del género *Mucuna* (43,7%-49,7%). Sin embargo, el contenido de este nutriente es más bajo que lo encontrado en *Cassia floribunda*, 61,0%, *C. obtusifolia*, 60,3% y *C. gladiata*, 61,8%(Vadivel y Janardhanan, 2005) y *Phaseolus vulgaris* L., 68,2-70,6% (Martín-Cabrejas *et al.*, 1997).

Los carbohidratos representan la forma de energía más abundante en los vegetales y, como tal, son la fuente de energía más utilizada por los animales para diversas funciones corporales. Por lo tanto, hay requerimientos de energía para el mantenimiento, actividad física, crecimiento, reproducción y producción de leche. Cuando el alimento es limitado y, por ende, la energía, un animal usará la energía disponible para el mantenimiento y reproducción, sacrificando el crecimiento y la lactancia (CATIE, 1982). Entre los ingredientes energéticos más importantes en alimentos balanceados para animales están el maíz amarillo (61-78% de

carbohidratos) (Alfaro *et al.*, 2004), la cebada (65-72%), la avena (65-70%) (Fenalce, 2009), el sorgo (70%), el trigo (71%), el arroz (76%) y el centeno (60%) (FAO, 2009). Teniendo en cuenta estos valores, la vitabosa no es una fuente energética (carbohidratos) para ser utilizada en la formulación de concentrados animales.

3.2 CUANTIFICACIÓN DE FACTORES ANTINUTRICIONALES

3.2.1 L-Dopa

La L-Dopa es uno de los principales antinutrientes encontrados en las semillas del género *Mucuna* (Janardhanan *et al.*, 2003). Este compuesto se considera como antinutriente porque al consumirse legumbres que lo contienen en altas cantidades puede ocasionar un incremento en la temperatura corporal, erupciones en la piel, vómito y diarrea en humanos y animales (Janardhanan *et al.*, 2003). El contenido de L-Dopa en la harina de vitabosa obtenida de la semilla sin aplicarle ningún tratamiento fue de 5,17 %, valor que se encuentra dentro del rango de algunas variedades de *M. pruriens* var. *Utilis* (4,44- 5,63 %) estudiadas por Gurumoorthi *et al.* (2008). Además, es inferior en comparación con lo reportado por otros autores en especies del género *Mucuna* tales como: *M. andreana* (6,3–8,9%); *M. birdwoodiana* (9,1%); *M. holtonii* (6,13–7,5%); *M. mutisiana*, *M. urens* (7,4 %) (Ingle, 2003), *M. pruriens*, 5,60- 6,56 % (Janardhanan *et al.*, 2003), *M. cochinchinensis*, 6,11%, *M. rajada*, 5,35%, *M. veracruz* blanca, 6,35% y *M. veracruz* moteada, 7,12% y más alto que lo observado en *M. pruriens* (4,81 y 4,99%) y *M. deeringiana*, (3,87%) (Adebowale *et al.*, 2005; Siddhuraju y Becker, 2005). La variación de L-Dopa en las semillas de *Mucuna* puede ser atribuida a las condiciones del medio ambiente (latitud, intensidad de luz, fuente de nitrógeno, etc.) y al control genético (Lorenzetti *et al.*, 1998; Wichers *et al.*, 1985).

La Tabla 7 indica los valores medios y la desviación de la concentración de L-Dopa para cada uno de los tratamientos fisicoquímicos evaluados. También se indica el porcentaje de reducción obtenido respecto al control (sin tratamiento). La concentración de L-Dopa, después de aplicar los tratamientos disminuyó a valores medios entre el 4,36 y el 2,05 %, que corresponde a una reducción entre el 15,66 y el 60,34%, respectivamente.

Tabla 7. Efecto de los diferentes tratamientos aplicados a la vitabosa sobre el contenido de L-Dopa

Tratamientos	Contenido de L-Dopa (%) [*]	Reducción (%)
Control	5,17 ± 0,03	
Tostado 15 minutos (T15)	4,36 ± 0,00	15,66
Tostado 30 minutos (T30)	3,85 ± 0,01	25,53
Tostado 60 minutos (T60)	2,05 ± 0,01	60,34
Hidratación agua potable (HA)	3,19 ± 0,00	38,29
Hidratación Bicarbonato de sodio (HB)	3,27 ± 0,00	36,75
Hidratación hidróxido de calcio (HCA)	2,69 ± 0,01	47,96
Hidratación cloruro de sodio (HCL)	3,12 ± 0,01	39,65
Hidratación y cocción (HYC)	2,08 ± 0,04	59,76
Germinación 120 horas (G120)	3,80 ± 0,01	26,49

^{*}Los resultados están expresados como la media de determinaciones por triplicado ± la desviación estándar.

El análisis de varianza (Tabla 8) mostró efecto significativo de los tratamientos fisicoquímicos en la reducción de L-Dopa. La prueba de comparación múltiple (Tabla 9) mostró que los mejores tratamientos fueron; tostado durante 60 minutos (60,34%) e hidratación y cocción; y los tratamientos menos eficaces fueron tostado por 15 y 30 minutos, que representaron una reducción de la L-Dopa del 15,66% y 25,53 %, respectivamente.

Tabla 8. Análisis de varianza para el contenido de L-Dopa de acuerdo con los tratamientos usados

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Entre grupos	17,1784	9	1,90871	3053,94	0,0000
Dentro de grupos	0,00625	10	0,000625		
Total	17,1847	19			

P es menor de 0,05, por lo tanto, hay una diferencia estadística significativa en la media de la L-Dopa entre los tratamientos a un nivel de confianza del 95%.

Respecto al proceso de tostado pudo observarse que con el incremento del tiempo de exposición se aumentó el porcentaje de reducción de la L-Dopa. Estos resultados son similares a los reportados por Gurumoorthi *et al.* (2008) para el tostado de siete diferentes variedades de *M. pruriens* durante 30 minutos, en donde se establecieron reducciones de la L-Dopa entre el 16,0 y 34,5%. Esta reducción relativa de L-Dopa durante este tratamiento puede ser ocasionada por una oxidación parcial de este compuesto (Siddhuraju y Becker, 2001a, 2001b, 2001c) o una racemización durante el tostado (Siddhuraju *et al.*, 1996). En este proceso, las proteínas pueden cambiar químicamente debido a la desnaturalización térmica. Cuando las proteínas son tostadas, los residuos de aminoácidos, especialmente los básicos, que contienen residuos β-hidroxilo y sulfuro, son descompuestos. Se produce una disociación del átomo de hidrógeno

unido al enlace peptídico, llevando a la formación de un doble enlace que luego es descompuesto, lo que ocasiona la producción de cetoácidos. Esta racemización disminuye el contenido nutricional de la proteína (Hayase *et al.*, 1975).

Tabla 9. Prueba de Comparación Múltiple L-Dopa

Tratamiento	Media	Grupos Homogéneos
T60	2,05	X
HYC	2,08	X
HCA	2,68	X
HCL	3,12	X
HA	3,19	X
HB	3,27	X
G120	3,79	X
T30	3,85	X
T15	4,36	X
C	5,17	X

Dentro de cada columna, los tratamientos que contienen la 'X' sobre la misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencias significativas a un nivel del 95%. Se identificaron 9 grupos homogéneos.

La hidratación de las semillas, en diferentes soluciones, se ha utilizado para reducir los antinutrientes en leguminosas (Gurumoorthi *et al.*, 2008; Siddhuraju y Becker, 2001a; Vijayakumari *et al.*, 1996; Barampama y Simard, 1995; Kataria *et al.*, 1989a,b). Entre los tratamientos químicos, la hidratación en disolución de hidróxido de calcio al 0,1 % fue la más eficaz en la reducción de L-Dopa (47,96%) seguida por el tratamiento con solución básica de cloruro de sodio al 0,1% en un (39,65%) y bicarbonato sódico al 0,1% (36,75%). Estos resultados fueron mejores que los obtenidos por Janardhanan *et al.* (2003) quien llevó a cabo el tratamiento de hidratación con soluciones de bicarbonato de sodio al 0,1% (17-20% de reducción) y cloruro de sodio al 0,1 % (14-15% de reducción), en algunas variedades de *M. pruriens*. La disminución de este antinutriente durante la hidratación de las semillas con soluciones de diferente fuerza iónica, pudo ser ocasionada por los cambios en la permeabilidad de la cáscara y variación en el rango de difusión de este compuesto. Además, en medio alcalino probablemente se producen fenolatos, que incrementan la solubilidad del compuesto en agua, o se favorece la oxidación de la L-Dopa, según las observaciones realizadas por Siddhuraju y Becker (2001). La hidratación en agua potable mostró una reducción amplia (38,29%) en comparación a lo encontrado por Gurumoorthi *et al.* (2008) en *M. pruriens* (0,36- 4,5 % de reducción). Estos autores también hallaron que la hidratación en hidróxido de sodio reducía entre un 25,7 a 54,5% los niveles de L-Dopa. Estos valores son similares a los observados en este estudio. Por el contrario, los datos que estos autores obtuvieron en la hidratación en cloruro de sodio y bicarbonato de sodio (1,4-9,5% y 0,7- 11,5%, respectivamente) son inferiores a los hallados en este estudio. Igualmente, Siddhuraju y Becker (2005) disminuyeron el contenido de L-Dopa en las semillas de *M. pruriens*, fragmentadas

en dos o tres partes, utilizando varios procesos como hidratación en solución de bicarbonato de sodio al 0,07%, ácido ascórbico al 0,1% y extracto en polvo de hoja de moringa, seguido por un proceso de cocción en autoclave (121°C, 15 lb de presión y por 20 minutos).

La hidratación y cocción de la semilla disminuyó los niveles de L-Dopa significativamente en un 59,76%, debido posiblemente a que la aplicación de temperaturas altas incrementó la solubilidad de la L-Dopa o causó degradación térmica de ésta. Se han reportado efectos similares en semillas de *Mucuna* hidratadas en agua y sometidas posteriormente a cocción (Lorenzetti *et al.*, 1998). Adicionalmente, Janardhanan *et al.* (2003) lograron una reducción de 56 a 60 % de L-Dopa en *M. pruriens* luego de someter siete veces a cocción las semillas por un periodo de 15 minutos cada cocción, mientras que en este estudio se obtuvo una reducción de 59,76% usando cocción por una hora, lo que indica que el último tratamiento es más eficaz. Egounlety (2003) encontró que la mejor reducción de L-Dopa (cerca del 90%) se logró con la combinación de cocción, descascarillado, hidratación por 24 horas con la remoción del agua a las 12 horas y de nuevo cocción.

Una germinación prolongada de 120 horas causó una reducción en el contenido de L-Dopa (26,49%) en la *Mucuna deeringiana*. Estos resultados son más bajos que los reportados por Gurumoorthi *et al.* (2008) para el tratamiento de germinación (34,8- 58,4% de reducción) durante 120 horas en *M. pruriens*. Estos autores observaron que a medida que aumentaba el tiempo de germinación, los niveles de L-Dopa disminuían. El descenso de este antinutriente puede ser ocasionado probablemente por la degradación enzimática o los cambios estructurales durante este periodo y puede variar de una especie a otra.

3.2.2 Fenoles Totales

Los fenoles totales en las semillas de *Mucuna deeringiana* que no fueron sometidas a ningún tratamiento fisicoquímico presentaron una media de 11,8 %. La concentración media de los fenoles totales de las semillas tratadas osciló entre 8,51 y 11,02%, correspondientes a una reducción entre el 27,88 y 6,61% (Tabla 10). Estos valores son mayoritariamente más altos que los reportados para *M. pruriens*, 5,65% (Sidduraju y Becker, 2005), *M. deeringiana*, 4,34%, *M. cochinchinensis*, 6,53%, *M. rajada*, 6,23%, *M. pruriens*, 7,75%, *M. veracruz* blanca, 5,24% y *M. veracruz* moteada, 9,23% (Adebowale *et al.*, 2005), *M. pruriens*, 7,85 % (Bhat *et al.*, 2007), *M. monosperma*, 2,29%, *M. pruriens*, 5,96% (Vadivel y Janardhanan, 2005) y *M. pruriens*, 3,26-4,88% (Gurumoorthi *et al.* 2003). Esto se debe posiblemente a la interferencia que pudo haber ocasionado la proteína en el método empleado en este estudio (Wrolstad *et al.*, 2005), por tal razón, no se evidencian reducciones considerables comparadas con los datos de reducción obtenidos en L-Dopa y taninos, que son estructuras de naturaleza fenólica. Luthria

y Pastor-Corrales (2005) explican que esta diferencia en el contenido de fenoles totales puede ser atribuida a varios factores como el genotipo, las prácticas agronómicas, la madurez en la cosecha, la poscosecha, las condiciones climáticas y las condiciones de crecimiento y almacenamiento.

Tabla 10. Efecto de los tratamientos en el contenido de Fenoles Totales de la semilla de vitabosa

Tratamientos	Contenido de Fenoles Totales (%)*	Reducción (%)
Control (C)	11,80 ± 0,20	
Tostado 15 minutos (T15)	9,19 ± 0,10	22,11
Tostado 30 minutos (T30)	9,09 ± 0,10	22,96
Tostado 60 minutos (T60)	8,51 ± 0,10	27,88
Hidratación agua potable (HA)	9,19 ± 0,20	22,11
Hidratación Bicarbonato de sodio (HB)	9,48 ± 0,10	19,66
Hidratación hidróxido de calcio (HCA)	9,67 ± 0,10	18,05
Hidratación cloruro de sodio (HCL)	8,99 ± 0,10	23,81
Hidratación y cocción (HYC)	8,70 ± 0,10	26,27
Germinación 120 horas (G120)	11,02 ± 0,20	6,61

*Los resultados están expresados como la media de determinaciones por triplicado ± la desviación estándar

En otras leguminosas como *Pisum sativum* (0,3%), *Lathyrus maritimus* L. (1,2 %) (Chavan *et al.*, 1999), *Canavalia ensiformis* (1,26%), *Cassia floribunda* (0,41%), *C. obtusifolia* (0,66%), *C. gladiata* (1,94%) (Vadivel y Janardhanan, 2005) y *Phaseolus vulgaris* L., 0,26-0,37%% (Martín-Cabrejas *et al.*, 1997) se observan niveles muy bajos de fenoles totales comparados con los obtenidos en este estudio.

El análisis de varianza (Tabla 11) mostró efecto significativo de los tratamientos en la reducción de fenoles totales. La prueba de comparación múltiple (Tabla 12) mostró que los mejores tratamientos fueron el tostado por 60 minutos y la hidratación y cocción. Los procesos menos eficaces en la reducción de fenoles fueron la germinación por 120 horas y la hidratación en hidróxido de calcio.

Tabla 11. Análisis de varianza Fenoles Totales

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Entre grupos	20,3943	9	2,26603	190,26	0,0000
Dentro de grupos	0,1191	20	0,01191		
Total	20,5134	29			

El tostado causa una reducción de los fenoles totales (22,1-27,8 %) en la vitabosa. Estos resultados son más bajos que los encontrados por Siddhuraju *et al.* (1996)

quienes reportaron una disminución de 48% en el contenido de estos antinutrientes utilizando un tratamiento de tostión a 120°C por 30 minutos.

La hidratación y cocción causó una reducción (26,2%) del contenido de fenoles totales en la vitabosa. Luthria y Pastor-Corrales (2006) encontraron que el agua de cocción contenía aproximadamente el 83% de los fenoles totales de *Phaseolus vulgaris* L. Adicionalmente, Siddhuraju *et al.* (2000) reportaron una reducción del 80% del contenido de fenoles totales en *M. pruriens* utilizando hidratación seguida por irradiación.

La disminución de los componentes fenólicos a altas temperaturas pudo ser ocasionada por la oxidación degradativa, la cual parece ser acelerada con el incremento de la temperatura (Nasar-Abbasm *et al.*, 2007). El contenido alto de fenoles puede afectar el valor nutricional de las semillas y la oxidación de sus productos interactuar con aminoácidos libres, especialmente los grupos amino de la lisina (Chavan *et al.*, 1999). Estos antinutrientes disminuyen la digestibilidad de las proteínas, los carbohidratos y minerales. Además, disminuyen la actividad de las enzimas digestivas y puede causar daño en la mucosa del tracto gastrointestinal (Gurumoorthi *et al.*, 2003; Liener, 1994).

Tabla 12. Prueba de Comparación Múltiple Fenoles Totales

TRATAMIENTOS	Media	Grupos Homogéneos
T60	8,51	X
HYC	8,70	XX
HCL	8,99	XX
T30	9,09	XX
T15	9,19	XX
HA	9,19	X
HB	9,48	X
HCA	9,67	X
G120	11,02	X
C	11,80	X

Dentro de cada columna, los tratamientos que contienen la 'X' sobre la misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencias significativas a un nivel del 95%. Se identificaron 7 grupos homogéneos.

3.2.3 Taninos

El contenido cuantificado de taninos de la *M. deeringiana* fue de 2,19 %. Este valor es alto comparado con lo reportado para *M. pruriens* (0,14-0,24 %) (Gurumoorthi *et al.*, 2003), *M. monosperma* (0,55%), *M. pruriens* (0,05%) (Vadivel y Janardhanan, 2005), *M. pruriens* (0,16-0,24%) (Gurumoorthi *et al.*, 2003), *Phaseolus vulgaris* L., 0,15% (Martín-Cabrejas *et al.*, 1997) y otras leguminosas (0,3-1,56%) (Barampama y Simard, 1994).

La concentración media de taninos de las semillas tratadas varió entre 0,66 y 1,46%, correspondiente a una reducción entre 69,86 y 33,33% (Tabla 13).

Tabla 13. Efecto de los tratamientos en el contenido de Taninos de la semilla de vitabosa

Tratamientos	Contenido de Taninos (%)*	Reducción (%)
Control (C)	2,19 ± 0,09	
Tostado 15 minutos (T15)	1,46 ± 0,02	33,33
Tostado 30 minutos (T30)	1,33 ± 0,09	39,26
Tostado 60 minutos (T60)	1,26 ± 0,02	42,46
Hidratación agua potable (HA)	1,06 ± 0,03	51,59
Hidratación Bicarbonato de sodio (HB)	0,79 ± 0,09	63,92
Hidratación hidróxido de calcio (HCA)	0,66 ± 0,02	69,86
Hidratación cloruro de sodio (HCL)	0,99 ± 0,09	54,79
Hidratación y cocción (HYC)	1,13 ± 0,09	48,40
Germinación 120 horas (G120)	1,06 ± 0,02	51,59

*Los resultados están expresados como la media de determinaciones por triplicado ± la desviación estándar

El análisis de varianza (Tabla 14) mostró efecto significativo de todos los tratamientos en la reducción de taninos. Según la prueba de comparación múltiple (Tabla 15) la hidratación con hidróxido de calcio y con bicarbonato de sodio fueron los procesos que más disminuyeron la cantidad de taninos, esto se debe posiblemente a que la fuerza iónica de estas soluciones disminuye la permeabilidad de la cáscara y los taninos, que son hidrosolubles y que pueden escindirse en medios alcalinos, salen de la semilla, lo que sucede de igual manera con el cloruro de sodio. También la oxidación de estos compuestos a pH alcalinos puede contribuir a la disminución de estos antinutrientes. Adamassu y Kumar (2007) observaron una reducción de 27% en el contenido de taninos en *Phaseolus vulgaris* L. sometidos a una hidratación con bicarbonato de sodio durante 12 horas, mientras que este mismo tratamiento más cocción disminuyó un 68% este antinutriente.

La hidratación en agua potable mostró una reducción (51,5% en 24 horas) de taninos en la vitabosa. Este resultado fue superior a lo observado en *Phaseolus vulgaris* L. (23% de reducción) sometido a hidratación por 12 horas (Admassu y Kumar, 2007). La hidratación y cocción también reducen significativamente el contenido de taninos, debido posiblemente a los cambios en su reactividad química y/o formación de complejos insolubles (Barroga *et al.*, 1985, Kataria *et al.*, 1989).

Tabla 14. Análisis de varianza de los tratamientos sobre los taninos

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Entre grupos	4,85333	9	0,539259	80,89	0,0000
Dentro de grupos	0,133333	20	0,00666667		
Total	4,98667	29			

La germinación presentó el mismo efecto reductor de este factor antinutricional (51,5%). De acuerdo con lo encontrado por Admassu y Kumar (2007) la germinación (72 horas) redujo el contenido de taninos (76%) en *Phaseolus vulgaris* L. Cuando le adicionaron a la germinación una cocción en autoclave observaron una reducción del 100% de este factor antinutricional. Adicionalmente, Siddhuraju y Becker (2001) encontraron que a medida que aumentaba el tiempo de germinación (72 horas) había una disminución más pronunciada de estos antinutrientes. La disminución de los polifenoles durante la germinación puede ser ocasionada probablemente por la presencia de la polifenoloxidasas y la hidrólisis enzimática (Sharma y Sehgal, 1992).

Los tratamientos de tostado fueron los menos efectivos debido posiblemente al corto tiempo de exposición a altas temperaturas.

Tabla 15. Prueba de comparación múltiple Taninos

TRATAMIENTOS	Media	Grupos homogéneos
HCA	0,66	X
HB	0,79	X
HCL	0,99	X
G120	1,06	X
HA	1,06	X
HYC	1,13	XX
T60	1,26	XX
T30	1,32	XX
T15	1,46	X
C	2,19	X

Dentro de cada columna, los tratamientos que contienen la 'x' sobre la misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencias significativas a un nivel del 95%. Se identificaron 6 grupos homogéneos.

Los taninos causan una disminución en el crecimiento de los animales por la baja asimilación de las proteínas y los carbohidratos. Esto es ocasionado principalmente por la interacción de los taninos con las proteínas o almidón para formar sustancias resistentes a las enzimas (Liener, 1994). Los taninos también son responsables de disminuir la tasa de crecimiento y la biodisponibilidad de minerales debido a la formación de complejos insolubles que son difíciles de

asimilar por el organismo y que reducen la cantidad de nutrientes que se absorben (Frossard *et al.*, 2000; Guzmán-Maldonado *et al.*, 2000).

3.2.4 Inhibidores de Tripsina

El contenido promedio de inhibidores de tripsina (TIA) cuantificado en la vitabosa fue de 22,43 TUI/mg de muestra. Este resultado es bajo comparado con el de otras especies del género *Mucuna* como *M. monosperma*, 65,4 TUI/mg muestra, *M. pruriens*, 62,3 TUI/mg muestra (Vadivel y Janardhanan, 2005), *M. pruriens*, 45,2- 49,6 TUI/mg de muestra (Gurumoorthi *et al.*, 2003) y otras leguminosas como *Cajanus cajan*, 67,1-71,3 TUI/mg muestra (Singh y Eggum, 1984) y fríjol, 79,3-87,6TUI/mg muestra (Apata y Ologhobo, 1997). Los valores medios de inhibidores de tripsina en las semillas tratadas variaron entre 3,63 y 10,87 TUI/mg de proteína, los cuales corresponden a una reducción entre 83,81 y 51,53%, respectivamente (Tabla 16).

El Análisis de varianza (Tabla 17) mostró efecto significativo de todos los tratamientos en la reducción de este antinutriente. La prueba de comparación múltiple (Tabla 18) mostró que los mejores tratamientos fueron la hidratación y cocción, y la hidratación en hidróxido de calcio. Los tratamientos menos eficaces fueron la germinación y tostado por 15 y 30 minutos.

Tabla 16. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de Inhibidores de Tripsina de la semilla de vitabosa

Tratamientos	Contenido de Inhibidores de Tripsina (TUI/mg muestra)*	Reducción (%)
Control (C)	22,43 ± 0,17	
Tostado 15 minutos (T15)	10,47 ± 0,12	53,32
Tostado 30 minutos (T30)	10,10 ± 0,29	54,97
Tostado 60 minutos (T60)	7,73 ± 0,17	65,53
Hidratación agua potable (HA)	7,27 ± 0,05	67,58
Hidratación Bicarbonato de sodio (HB)	7,10 ± 0,02	68,34
Hidratación hidróxido de calcio (HCA)	5,43 ± 0,05	75,79
Hidratación cloruro de sodio (HCL)	8,17 ± 0,49	63,57
Hidratación y cocción (HYC)	3,63 ± 0,12	83,81
Germinación 120 horas (G120)	10,87 ± 0,25	51,53

*Los resultados están expresados como la media de determinaciones por triplicado ± la desviación estándar

La hidratación y cocción disminuyó 83 % el contenido de estos antinutrientes, estos resultados son mejores que los obtenidos en *Pisum sativum*, 62,3–77,8% (Wang *et al.*, 2008). Estos autores encontraron también que la cocción reduce más los TIA que los tratamientos de hidratación y descascarillado. Los inhibidores de tripsina son termolábiles y su actividad inhibitoria puede reducirse

considerablemente con tratamientos térmicos (Liener, 1994). La cocción normal y en autoclave aumentan la digestibilidad de la proteína de las leguminosas, lo que puede ser atribuido no sólo a la remoción de los antinutrientes, sino también a la desintegración estructural de la proteína nativa incluyendo a los inhibidores de enzimas (Moneam, 1990). La cocción es un proceso efectivo para la reducción de los factores antinutricionales. Sin embargo, una cocción excesiva puede disminuir el contenido de nutrientes (Wang *et al.*, 1997).

Tabla 17. Análisis de varianza Inhibidores de Tripsina

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Entre grupos	710,135	9	78,9039	1085,83	0,0000
Dentro de grupos	1,45333	20	0,0726667		
Total	711,588	29			

La hidratación en agua potable disminuyó el contenido de inhibidores de tripsina (67,58%) de la *M. deeringiana*. Esto concuerda con lo reportado por Roman *et al.* (1987) en *Vigna unguiculata*. Por el contrario, Wang *et al.* (2008) observaron un aumento en el contenido de TIA en la hidratación de *Pisum sativum* y relacionan este resultado con el bajo peso molecular de estos antinutrientes, que aumenta su retención en las semillas hidratadas. Admassu y Kumar (2007) reportaron que se producía una reducción mayor de este antinutriente en *Phaseolus vulgaris* L. cuando se utilizó un tratamiento de hidratación en solución de bicarbonato de sodio (12 horas) (reducción 11%) en comparación con agua potable (12 horas) (reducción 9%). Estos datos son muy bajos comparados con los encontrados en este estudio. La hidratación con hidróxido de calcio produce un cambio en el pH del medio y, por ende, produce un desbalance de las proteínas, lo que puede originar modificaciones importantes en su conformación debido a cambios en la ionización de las cadenas laterales cargadas porque se afecta el número de los puentes salinos que estabilizan la estructura nativa de las proteínas. En los procesos tecnológicos que involucran la obtención de aislados proteínicos vegetales es el tratamiento alcalino el que se aplica con mayor frecuencia. En los tratamientos alcalinos se puede presentar también la racemización y formación de aminoácidos modificados (Badui, 2006).

El tostado también inhibió la actividad de los inhibidores de tripsina (53,3-65,5 %) en la vitabosa. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Márquez *et al.*, (1998) en *Cicer arietinum*. Esta reducción se debe posiblemente a la desnaturalización térmica que sufren estos antinutrientes.

Tabla 18. Prueba de Comparación Múltiple Inhibidores de Tripsina

TRATAMIENTOS	Media	Grupos homogéneos
HYC	3,63	X
HCA	5,43	X
HB	7,10	X
HA	7,27	X
T60	7,73	X
HCL	8,17	X
T30	10,10	X
T15	10,47	XX
G120	10,87	X
C	22,43	X

Dentro de cada columna, los tratamientos que contienen la 'x' sobre la misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencias significativas a un nivel de 95%. Se identificaron 7 grupos homogéneos.

La germinación redujo el contenido de estos antinutrientes (51,53 %) aunque no de forma tan eficaz como otros tratamientos. Se ha reportado reducciones de inhibidores de tripsina por germinación de 17% en *Phaseolus vulgaris* (Admassu y Kumar, 2007), 25 % en *Vicia faba* y de 29 % en *Phaseolus vulgaris* (Alonso *et al.*, 2000), valores menores comparados con los encontrados en este estudio.

La ingestión alta de inhibidores de tripsina interrumpe el proceso digestivo y puede ocasionar reacciones fisiológicas indeseables. Los inhibidores de tripsina inhiben la actividad de la tripsina y esto influye sobre la secreción de otras enzimas pancreáticas, como en el aumento de producción la colecistiquinina, que conlleva a una hipertrofia pancreática (Grant *et al.*, 1995). Se ha relacionado el incremento en el tamaño del páncreas en pollos con el contenido de inhibidores de tripsina en formulaciones de alimentos balanceados con soya (Clarke y Wiseman, 2005).

3.3 TRATAMIENTOS SELECCIONADOS

3.3.1 Selección de Tratamientos

En la Tabla 19 se observa el porcentaje de reducción de los factores antinutricionales de cada uno de los tratamientos. Entre paréntesis se encuentra la posición (de 1 a 9) según el grado de reducción de cada antinutriente. La última columna (promedio) indica la posición media. Los tratamientos están organizados por la posición media ocupada en la reducción de todos los antinutrientes. Se llevó a cabo esta selección para elegir los tratamientos que fueron más eficaces en la reducción de antinutrientes y proceder con su análisis proximal a fin de determinar si hay diferencias en su composición ocasionadas por el tratamiento aplicado. Los tratamientos seleccionados para realizar el análisis proximal fueron, en su orden, hidratación y cocción (HYC), tostado durante 60 minutos (T60), hidratación en

hidróxido de calcio (HCA) y en cloruro de sodio (HCL). La Figura 6 muestra la prueba de comparación múltiple de la posición media de los tratamientos en la reducción de los cuatro factores antinutricionales considerada para la selección de los procesos nombrados anteriormente.

Tabla 19. Porcentaje de reducción de los factores antinutricionales

Tratamiento	L-Dopa	Fenoles	Taninos	Inh. Tripsina	Promedio
HYC	59,76 (2)	26,27 (2)	48,40 (6)	83,81 (1)	2,75 (1)
T60	60,34 (1)	27,88 (1)	42,46 (7)	65,53 (5)	3,50 (2)
HCA	47,96 (3)	18,05 (8)	69,86 (1)	75,79 (2)	3,50 (3)
HCL	39,65 (4)	23,81 (3)	54,79 (3)	63,57 (6)	4,00 (4)
HB	36,75 (6)	19,76 (7)	63,92 (2)	68,34 (3)	4,50 (6)
HA	38,29 (5)	22,11 (6)	51,56 (4)	67,58 (4)	4,75 (5)
T30	25,53 (8)	22,96 (4)	39,26 (8)	54,97 (7)	6,75 (7)
G120	26,49 (7)	6,61 (9)	51,59 (4)	51,53 (9)	7,25 (8)
T15	15,66 (9)	22,11 (5)	33,33 (9)	53,32 (8)	7,75 (9)

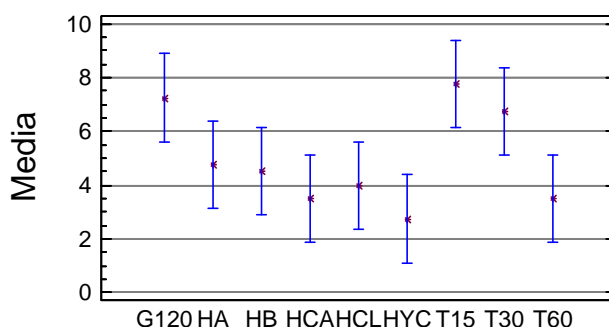


Figura 6. Prueba de comparación múltiple de la posición media de los tratamientos en la reducción de los factores antinutricionales

3.3.2 Análisis proximal de los tratamientos seleccionados

La Tabla 20 indica los valores medios obtenidos en la composición proximal de la *Mucuna deeringiana* para los cuatro tratamientos seleccionados y para el control (C).

El rango de humedad está entre 5,42 % (HYC) y 12,63 % (C). El análisis de varianza (Tabla 21) mostró efecto significativo de los tratamientos seleccionados en el contenido de humedad.

Tabla 20. Análisis proximal de los tratamientos seleccionados

Parámetro (%**)	C*	HYC*	T60*	HCA*	HCL*
Humedad	12,63 ± 0,12	5,42 ± 0,03	5,67 ± 0,02	5,48 ± 0,01	5,60 ± 0,01
Proteína	29,23 ± 0,46	31,55±0,54	29,71 ± 0,39	30,14 ± 0,10	30,02 ± 0,10
Grasa Bruta	2,37 ± 0,04	2,82 ±0,10	3,11 ± 0,02	2,14 ± 0,08	2,72 ± 0,03
Cenizas	3,89 ± 0,03	2,90 ± 0,01	2,96 ± 0,11	3,12 ± 0,02	3,31 ± 0,01
Fibra Cruda	7,32 ± 0,03	9,25 ±0,06	7,24 ± 0,08	9,51 ± 0,14	9,49 ± 0,06
Carbohidratos	44,56 ± 0,50	48,03±0,55	51,29 ± 0,49	49,60 ± 0,12	48,85 ± 0,16

** Valores expresados en materia seca (MS).

*Los resultados están expresados como la media de determinaciones por triplicado ± la desviación estándar

La prueba de comparación múltiple (Tabla 22) mostró que los tratamientos que más reducen la humedad son HYC y HCA. Se puede observar que la humedad disminuye en los tratamientos comparándolos con el control (C), debido posiblemente al secado por aire caliente controlado que se llevó a cabo durante 48 horas después de aplicar los tratamientos.

Tabla 21. Análisis de varianza de los tratamientos sobre la humedad

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Entre grupos	120,727	4	30,1817	5673,25	0,0000
Dentro de grupos	0,0532	10	0,00532		
Total	120,78				

P es menor de 0,05, por lo tanto, hay una diferencia estadística significativa en la media de la humedad entre los tratamientos seleccionados a un nivel de confianza del 95%.

Tabla 22. Prueba de Comparación Múltiple Humedad

Tratamientos homogéneos	Media	Grupos
HYC	5,42	X
HCA	5,48	XX
HCL	5,60	XX
T60	5,67	X
C	12,63	X

Dentro de cada columna, los tratamientos que contienen la 'x' sobre la misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencias significativas en un nivel de 95%. Se identificaron 4 grupos homogéneos.

El contenido de proteína osciló entre un rango de 29,23% a 31,55% (Tabla 20). El análisis de varianza (Tabla 23) mostró un efecto significativo en el contenido de proteína de la vitabosa sometida a los tratamientos seleccionados. De acuerdo a la Tabla 24 T60 y HCL no afectaron el porcentaje de proteína respecto al tratamiento control.

Tabla 23. Análisis de varianza de los tratamientos sobre la Proteína cruda

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Entre grupos	9,03647	4	2,25912	10,82	0,0012
Dentro de grupos	2,08767	10	0,208767		
Total	11,1241	14			

El HYC presentó el mayor porcentaje de proteína. Este nutriente aumentó debido posiblemente a la reducción de la humedad de la semilla ocasionada por el secado controlado durante 48 horas.

Tabla 24. Prueba de Comparación Múltiple Proteína cruda

Tratamientos homogéneos	Media	Grupos
C	29,23	X
T60	29,71	XX
HCL	30,02	XX
HCA	30,14	X
HYC	31,55	X

Dentro de cada columna, los tratamientos que contienen la 'x' sobre una misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencias significativas a un nivel de 95%. Se identificaron 3 grupos homogéneos.

El contenido de grasa bruta osciló entre 2,14% y 3,11% (Tabla 20). El análisis de varianza (Tabla 25) indica que hay un efecto significativo de los tratamientos aplicados sobre la grasa bruta de la vitabosa. La prueba de comparación múltiple (Tabla 26) mostró que el tratamiento que redujo estadísticamente la grasa bruta fue el HCA. El HCL y T60 aumentaron significativamente el contenido de grasa en la vitabosa. Esto fue ocasionado posiblemente a las diferencias en la humedad obtenida en los procesos.

Tabla 25. Análisis de varianza de los tratamientos sobre la Grasa bruta

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Entre grupos	1,76727	4	0,441817	67,49	0,0000
Dentro de grupos	0,0654667	10	0,00654667		
Total	1,83273	14			

El contenido de cenizas estuvo en un rango entre 2,90% y 3,89% (Tabla 20). El análisis de varianza (Tabla 27) mostró un efecto significativo de los tratamientos seleccionados en las cenizas de la vitabosa. La prueba de selección múltiple (Tabla 28) indica que los tratamientos que más disminuyeron este nutriente fueron el HYC y el T60. La disminución de las cenizas (minerales) puede ser atribuida a la difusión de los minerales en el agua de hidratación y cocción. Esto concuerda con lo encontrado por Wang *et al.* (2008) en *Pisum sativum*.

Tabla 26. Prueba de Comparación Múltiple Grasa bruta

Tratamiento	Media	Grupos Homogéneos
HCA	2,14	X
C	2,37	X
HCL	2,72	X
HYC	2,82	X
T60	3,11	X

Dentro de cada columna, los tratamientos que contienen la 'x' sobre la misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencias significativas a un nivel de 95%. Se identificaron 4 grupos homogéneos.

Tabla 27. Análisis de varianza de los tratamientos sobre las cenizas

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Entre grupos	1,88924	4	0,47231	98,13	0,0000
Dentro de grupos	0,0481333	10	0,00481333		
Total	1,93737	14			

Tabla 28. Prueba de Comparación Múltiple Cenizas

Tratamiento	Media	Grupos homogéneos
HYC	2,90	X
T60	2,96	X
HCA	3,12	X
HCL	3,31	X
C	3,89	X

Dentro de cada columna, los tratamientos que contienen la 'x' sobre la misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencias significativas a un nivel de 95%. Se identificaron 4 grupos homogéneos.

El contenido de fibra cruda varió entre un rango de 7,24% a 9,51% (Tabla 20). El análisis de varianza (Tabla 29) indica que hay un efecto significativo de los tratamientos aplicados sobre el contenido de fibra cruda de la *M. deeringiana*. La prueba de selección múltiple (Tabla 30) indica que los tratamientos que presentaron mayor cantidad de fibra fueron el HCL y el HCA. Este nutriente aumentó debido posiblemente a la reducción de la humedad de la semilla

ocasionada por el secado controlado durante 48 horas, que cambió el porcentaje de los nutrientes en la semilla.

Tabla 29. Análisis de varianza de los tratamientos sobre la Fibra cruda

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Entre grupos	16,5879	4	4,14697	385,88	0,0000
Dentro de grupos	0,107467	10	0,0107467		
Total	16,6954	14			

Tabla 30. Prueba de Comparación Múltiple Fibra cruda

Tratamiento	Media	Grupos homogéneos
T60	7,24	X
C	7,32	X
HYC	9,25	X
HCL	9,49	X
HCA	9,51	X

Dentro de cada columna, los tratamientos que contienen la 'x' sobre la misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencias significativas a un nivel de 95%. Se identificaron 3 grupos homogéneos.

El contenido de extracto no nitrogenado estuvo en un rango de 44,56% y 51,29% (Tabla 20). El análisis de varianza (Tabla 31) mostró un efecto significativo de los tratamientos en el ENN de la vitabosa. La prueba de selección múltiple (Tabla 32) indica que los tratamientos empleados aumentaron la cantidad de ENN de la semilla. No se evidencian diferencias entre HYC, HCL y HCA, mientras que el T60 aumenta significativamente este nutriente. Esto debido posiblemente al cambio de los componentes de la semilla ocasionado por la disminución de la humedad del grano.

Tabla 31. Análisis de varianza de los tratamientos sobre el ENN

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	P
Entre grupos	74,6295	4	18,6574	73,29	0,0000
Dentro de grupos	2,5456	10	0,25456		
Total	77,1751	14			

En conclusión, los tratamientos seleccionados tuvieron un efecto significativo sobre los principales nutrientes de la vitabosa. Estos resultados están relacionados con lo encontrado por Gurumoorthi *et al.* (2008) en *Mucuna pruriens*. En su estudio algunos tratamientos térmicos como cocción y tostado disminuyen el contenido de aminoácidos. De igual forma Wang *et al.* (2008) observaron un

efecto significativo de la hidratación, cocción y remoción de la cáscara sobre la composición proximal en *Pisum sativum*. Estos procesos aumentaron el contenido de proteína y de fibra dietaria total y causaron una disminución en el contenido de minerales de la muestra. Esto es similar a lo encontrado en este estudio.

Tabla 32. Prueba de Comparación Múltiple Carbohidratos

Tratamiento	Media	Grupos homogéneos
C	44,55	X
HYC	48,03	X
HCL	48,84	XX
HCA	49,59	X
T60	51,29	X

Dentro de cada columna, los tratamientos que contienen la 'x' sobre la misma columna forman un grupo de medias dentro de las cuales no hay diferencias significativas. Se identificaron 4 grupos homogéneos.

Estos resultados indican que con la aplicación de estos métodos de procesamiento, además de reducir el contenido de factores antinutricionales, se incrementa el contenido de proteína cruda. La mejor alternativa es aplicar la hidratación y cocción, ya que se obtiene un producto con una cantidad más alta de proteína que al ser desnaturalizada por la acción del calor aumenta la digestibilidad de ésta en el organismo. Además presenta una composición media en fibra cruda, cenizas, grasa bruta y carbohidratos. La humedad permitiría una mejor conservación de la semilla y mayor facilidad para la reducción de tamaño. Por otro lado, es uno de los procesos que presenta menor cantidad de L-Dopa (2,0%), de fenoles totales (8,7%), de taninos (1,13%) y de inhibidores de tripsina (3,63 TUI/ mg de muestra).

En otro trabajo, fuera del alcance de esta tesis, se evaluaron y compararon con la harina de soya algunas propiedades relacionadas con la calidad de la proteína de la vitabosa.

4. CONCLUSIONES

- La vitabosa (*Mucuna deeringiana*) tiene un porcentaje de proteína cruda alto (29,2 %), el cuál está dentro del rango obtenido en otras especies del género *Mucuna*.
- La hidratación seguida de cocción, el tostado por 60 minutos y la hidratación en diferentes soluciones (bicarbonato de sodio, hidróxido de calcio y cloruro de sodio) de las semillas de vitabosa reducen significativamente ($p < 0,05$) el contenido de L-Dopa, de fenoles totales, de taninos y la actividad de los inhibidores de tripsina. Los métodos de procesamiento aplicados a la vitabosa en esta investigación son fáciles y efectivos en la reducción del contenido de antinutrientes y no afectan negativamente el contenido nutricional de la semilla.
- El contenido inicial de L-Dopa de la vitabosa fue de 5,17%. Este resultado está dentro del rango reportado para otras semillas de este mismo género. Tanto los tratamientos físicos como los químicos disminuyeron significativamente la concentración de este antinutriente. El tratamiento térmico (T60) y la hidratación seguida por cocción en agua fueron los procesos más efectivos en la disminución de este antinutriente (reducción de 60,34% y 59,76%, respectivamente). Esto es una ventaja para el productor debido a que por su fácil aplicación, estos tratamientos pueden ser utilizados en las fincas sin necesidad de maquinaria costosa y sin el uso de productos químicos.
- Los fenoles totales en las semillas de *Mucuna deeringiana* que no fueron sometidas a ningún tratamiento presentaron una media de 11,8%. Los procesos más eficaces en la reducción de estos antinutrientes fueron el tostado durante 60 minutos y la hidratación y cocción (27,88% y 26,27%, respectivamente). Esta disminución pudo haber sido ocasionada por la degradación oxidativa de estos compuestos a temperaturas altas.
- El contenido de taninos en la *Mucuna deeringiana* fue de 2,19%. La hidratación en hidróxido de calcio y en bicarbonato de sodio disminuyeron significativamente el 70 y 64% de los taninos, respectivamente. Esta reducción pudo haber sido ocasionada por la oxidación a pH alcalinos de estas sustancias.
- El contenido promedio de los inhibidores de tripsina en la vitabosa fue de 22,43 TUI/mg de muestra. La hidratación seguida por cocción y la hidratación en hidróxido de calcio disminuyeron significativamente el

contenido de estos factores antinutricionales en un 83 y 75 %, respectivamente. La hidratación y cocción ocasionaron posiblemente una desnaturalización térmica de estas proteínas. La hidratación en la solución alcalina sugiere una desnaturalización por cambio en la fuerza iónica.

- Estos resultados indican que con la aplicación de estos métodos de procesamiento, además de reducir el contenido de factores antinutricionales, se incrementa el contenido de proteína cruda. La mejor alternativa es aplicar la hidratación y cocción, ya que brinda una cantidad más alta de proteína que al ser desnaturalizada por la acción del calor aumenta la digestibilidad de ésta en el organismo. Además presenta una composición media en fibra cruda, cenizas, grasa bruta y carbohidratos. La humedad permitiría una mejor conservación de la semilla y mayor facilidad para la reducción de tamaño.

5. RECOMENDACIONES

Se sugiere lo siguiente para posteriores trabajos en esta línea de investigación:

- Realizar un estudio que integre la combinación de varios tratamientos para reducir la cantidad de antinutrientes de la semilla. Una sugerencia puede ser la hidratación en hidróxido de calcio por 24 horas seguido por cocción durante una hora o cocción a presión o en autoclave. Otra opción es la aplicación de hidratación en cloruro de sodio, cocción y tostado ya que estos métodos (HYC y T60) resultaron ser los más eficaces para la reducción de estos antinutrientes.
- Evaluar el efecto que tiene la incorporación de la harina de las semillas tratadas en la formulación de alimentos balanceados para animales.
- Utilizar otros procesos en la semilla de vitabosa diferentes a los utilizados en este estudio. Un proceso que no se estudió y que puede ser apto para una producción a nivel industrial es la extrusión que es utilizada en la soya para reducir factores antinutricionales.
- Realizar un estudio de la composición de aminoácidos en las semillas procesadas para determinar el efecto de los tratamientos sobre la calidad de la proteína.

BIBLIOGRAFIA

Adebowale, Y.A., Adeyemi, A., Oshodi, A.A. y Niranjana, K. (2007). Isolation, fractionation and characterisation of proteins from *Mucuna* bean. *Food Chemistry* 104. 287-299.

Adebowale, Y.A., Adeyemi, A. y Oshodi, A.A. (2005). Variability in the physicochemical, nutritional and antinutritional attributes of six *Mucuna* species. *Food Chemistry* 89. 37-48.

Admassu, E. y Kumar, S. (2007). Effect of processing on antinutrients and *in vitro* protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Food Chemistry*, 103. 161-172.

Afolabi, O.A., Oshuntogun, B.A. Adewusi, S.R., Fapojuwo, O.O., Ayorinde, F.O., Grissom, F.C. y Oke, O.L.(1985). Preliminary nutritional and chemical evaluation of raw seeds from *Mucuna solanifolia*: an underutilised food source. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33, 122-124

Agdebe, J. y Aletor, V. (2005). Studies of the chemical composition and protein quality evaluation of differently processed *Canavalia ensiformis* and *Mucuna pruriens* seed flours. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 89-103.

Albany College of Pharmacy and Health Sciences. Identification of alcohols by chemical methods. [Artículo de Internet]. acpcommunity.acp.edu/.../exp/oxid/oxidides.html. [Consulta: 23 de noviembre de 2008].

Aletor, V. A., y Aladetimi, O. (1989). Compositional evaluation of some cowpea varieties and some underutilised legumes in Nigeria. *Die Nahrung*, 37, 999–1007.

Alfaro, Y., Segovia, V., Mireles, M., Monasterios, P., Alejos, G. y Pérez, M. (2004). El maíz amarillo para la molienda húmeda. Revista Digital CENIAP HOY Número 6, septiembre-diciembre 2004.

Alonso, R., Aguirre, A. y Marzo, F. (2000). Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry*, 68, 159,165.

Amarasekara, A. y Jansz, R. (1980). Studies in *Mucuna* species of Sri Lanka II. Determination of Tetrahydroisoquinoline content of seeds. *Journal of National Science Council of Sri Lanka*, 8, 99-103.

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis (16th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

Apata, D. y Ologhobo, A. (1997) Trypsin inhibitor and other antinutritional factors in tropical legume seeds. *Tropical Science*, 37, 52–59.

Apaydin, H. (2000). Broad bean (*Vicia faba*) – A natural source of L-DOPA prolongs ‘on’ periods in patients with Parkinson’s disease who have ‘on–off’ fluctuations. *Movement Disorders*, 15, 164 –166.

Arnou, L. E. (1937). Colorimetric determination of the components of 3, 4-dihydroxyphenylalanine-tyrosine mixture. *Journal of Biological Chemistry*, 118, 531-537

Arulmozhi, M, y Janardhanan, K. (1992). The biochemical composition and nutritional potential of the tribal pulse, *Mucuna monosperma*. *Plant Foods for Human Nutrition*, 42, 53.

AUPEC, (1997). La vitabosa, una aliada de los campos. [Artículo de internet]. www.aupec.univalle.edu.co/informes/diciembre97/boletin56/vitabosa.html - 7k. [Consulta: 2 de abril de 2008].

Badui, S. (2006). Química de los Alimentos. Pearson Educación. México. p. 170, 179.

Barampama, Z. y Simard, RE. (1995). Effects of soaking, cooking and fermentation on composition, *in vitro* starch digestibility and nutritive value of common beans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 48, 349-365.

Barampama, Z., y Simard, R. E. (1994). Oligosaccharides, antinutritional factors and protein digestibility of dry beans as affected by processing. *Journal of Food Science*, 59, 833–838.

Barroga, C.F., Laurena, A.C. y Mendoza, M.T. (1985). Polyphenols in mung bean (*Vigna radiata* L., Wilczek): determination and removal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33, 1006–1009.

Bauza, R. (2009). Curso de Nutrición Animal. [Artículo de internet]. <http://www.fagro.edu.uy/~nutanimal/09.Teo.Alim.SupProt.pdf>. [Consulta: 22 de julio de 2009].

Bhat, R., Sridhar, K. y Tomita-Yokotani, K. (2007). Effect of ionizing radiation on antinutritional features of velvet bean seeds (*Mucuna pruriens*). *Food Chemistry*, 103, 860-866.

Belmar, R. y Nava, R. (2000). Factores Antinutricionales en la alimentación de animales monogástricos. [Artículo de internet]. http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/viii_encuentro/roberto.htm. [Consulta: 2 de abril de 2008].

Bishnoi, S. y Khetarpaul, N. (1994). Protein digestibility and field peas: Varietal differences and effect of domestic processing and cooking methods. *Plants and Foods in Human Nutrition*, 46, 71–76.

Bressani, R. (2002). Factors influencing nutritive value in food legumes, *Mucuna* compared to other grain legumes. In M. Florens, M. Eilitta, R. Myhrman, L. Carew, & R. Carsky (Eds.), *Food and feed from Mucuna: Current use and the way forward. Proceedings of an International Workshop on Food and feed from Mucuna: Current uses and the way forward*. Tegucigalpa, Honduras, April 26–29, 2000 (pp. 164–188). Tegucigalpa, Honduras: CIDICCO, CIEPCA, and World Hunger Research Centre.

Buckles, D. (1995). Velvetbean: A new plant with a history. *Economic Botany*, 49, 13–25

Burcu, B., Eren A. y Putun E. (2006). Fast pyrolysis of soybean cake: Product yields and compositions. *Bioresource Technology*, 97, 569-576.

Burns, R. R. (1971). Methods for estimation of tannins in grain, Sorghum. *Agronomic Journal*, 63, 511–512.

Butler, L.G. y K.D. Bos. (1993). Analysis and characterization of tannins in faba beans, cereals and other seeds. A literature review. *Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds: proceedings of the Second International Workshop on 'Antinutritional Factors (ANFs) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands*, 1-3.

Caamal-Maldonado, J.A., Jiménez O.J. Torres, B. y Anaya, A. L. (2001). The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agronomy Journal*, 93, 27-36

Carnovale, E., Lugaro, E., & Marconi, E. (1991). Protein quality and antinutritional factors in wild and cultivated species of *Vigna* spp. *Plant Foods for Human Nutrition*, 41, 11–20.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (1982). Aspectos Nutricionales en los Sistemas de Producción Bovina. Costa Rica. p.10.

Chang, H. L., Sang, H. O., Eun, J. Y. y Young, S. K. (2006). Effects of raw, cooked and germinated small black soybean powders on dietary fibre content and gastrointestinal functions. *Food Science and Biotechnology*, 15, 635–638.

Chavan, U. D., Shahidi, F., Bal, A. K., y McKenzie, D. B. (1999). Physicochemical properties and nutrient composition of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). *Food Chemistry*, 66, 43–50

Chang, K.C. y Harrold, R.L. (1988). Changes in selected biochemical components, in vitro protein digestibility and amino acids in two bean cultivars during germination. *Journal of Food Science*, 53, 783–787.

Chavan, U. D., Shahidi, F., Bal, A. K., y McKenzie, D. B. (1999). Physicochemical properties and nutrient composition of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.). *Food Chemistry*, 66, 43–50.

Chikagwa-Malunga, S., Adesogan, A., Sollenberger, L., Phatak, S., Szabo, N., Kim, S., Huisden, C. y Littell, R. (2009). Nutritional characterization of *Mucuna pruriens* 4. Does replacing soybean meal with *Mucuna pruriens* in lamb diets affect ruminal, blood and tissue l-dopa concentrations?. *Animal Feed Science and Technology*, 148, 124-137.

Clarke, E. y Wiseman, J. (2005). Effects of variability in trypsin inhibitor content of soya bean meals on true and apparent ileal digestibility of amino acids and pancreas size in broiler chicks. *Animal Feed Science and Technology*, 121, 125-138.

Corpoica (2000). Determinación de Causas, pérdidas de suelo en sistemas de producción en laderas y recomendaciones de recuperación y manejo, en el Departamento de Atlántico. *Boletín Técnico “Resultado de una investigación”*. P. 5

Corpoica y Pronata. (2003). Informe Final: Diseño y Aplicación de estrategias no químicas de manejo de malezas nocivas en algunos sistemas de producción agrícola de pequeños y medianos productores del Piedemonte del Meta. Corpoica Regional 8. Villavicencio. 130 p.

Daxenbichler, M. E., Kleiman, R., Weisleder, D., VanEtten, C. H., y Carlson, K. D. (1972). A new amino acid, (-)-1-methyl-3-carboxy- 6,7-dihydroxy-1,2,3,4-tetrahydroisoquinoline, from velvet bean. *Tetrahedron Letters*, 18, 1801±1802

Daxenbichler, M. E., VanEtten, C. H., Hallinan, E.A., Earle, F.R. y Barclay, A. (1971). Seeds as sources of L-Dopa. *Journal of Medicinal Chemistry*, 14.463-465.

Del Carmen, J., Gernat, A.G., Myhrman, R. Y Carew, I.B. (1999). Evaluation of raw and heated Velvet beans (*Mucuna pruriens*) as feed ingredients for broilers. *Poultry Science*, 78.

Del Carmen, J., Gernat, A.G., Myhrman, R. y Carew, L.B., (2002). Evaluation of raw and heated Velvet beans (*Mucuna pruriens*) as feed ingredients for broilers. In: Flores, B.M., Eilitta, M., Myhrman, R., Carew, L.B., Carsky, R.J. (Eds.), Food and Feed from *Mucuna*: Current Uses and the Way Forward. Proceedings of the Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura. April 26–29, 2000, Tegucigalpa, Honduras, pp. 258–271.

Devendra, C. (1995). Tropical legumes for all ruminants. In P. D'mello & C. Devendra (Eds.), Tropical legumes in animal nutrition. Wallingford: CAB International.

Dixon R. A., Harrison, M. J. y Lamb C.J. (1994). Early events in the activation of plant defense responses. *Annual Reviews of Phytopathology*, 32.479–501.

Echeverri, C y Rodríguez, H. (1999). La Vitabosa (*Mucuna Deeringiana*). Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Antioquia. Centro Multisectorial de Oriente. Rionegro.

Eco2site, 2004. Biodiesel en el mundo. [Artículo de Internet]. <http://www.eco2site.com/informes/biodiesel-m.asp> [Consulta: 10 de septiembre del 2009].

Eilitta, M., Carsky, R., Mureithi, J., Szabo, N., Bressani, R., Myhrman, R., Sandoval, C., Muinga, R., Carew, L., Capo-chichi, L. y Teixeira, A., (2003). Future agenda for research and promotion of *Mucuna*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 329–343.

Egounlety, M. (2003). Processing of velvet bean (*Mucuna pruriens* var *utilis*) by fermentation. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 173-181.

Ezeagu, I., Maziya-Dixon, B, y Tarawali, G. (2003). Seed characteristics and nutrient and antinutrient composition of 12 *Mucuna* accessions from Nigeria. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 129-139.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2009). El sorgo y el mijo en la nutrición humana. [Artículo de internet] <http://www.fao.org/docrep/T0818S/T0818S0b.htm>. [Consulta: 22 de julio de 2009]

Fenalce (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas). (2009). La cebada. [Artículo de internet] http://fenalce.net/pagina.php?p_a=50 [Consulta: 22 de julio de 2009]

Fenavi (Federación Nacional de Avicultores) y Fonav (Fondo Nacional Avícola). (1999) Cuadernos Avícolas, No. 8.

Flores, L., Esnaola, M., y Myhrman, R. (2002). Growth of pigs fed diets with *Mucuna* bean flour (*Mucuna pruriens*) compared to soybean meal. In: Flores, B.M., Eilitta, M., Myhrman, R., Carew, L.B., Carsky, R.J. (Eds.), Food and Feed from *Mucuna*: Current Uses and the Way Forward. Proceedings of the Centro Internacional de Información sobre Cultivos de Cobertura. April 26–29, 2000, Tegucigalpa, Honduras, pp. 288–305.

Frossard, E., Bucher, M., Mañcher, F., Mozafar, A. y Hurrell, R. (2000). Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn, and Ca in plants for human nutrition. *Journal of Science and Food Agriculture*, 80, 861-879.

Garcia, E., Filisetti, T. M. C. C., Udaeta, J. E. M., y Lajolo, F. M. (1998). Hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris*): Involvement of phenolic compounds and pectates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 2110–2116.

Giami, S. Y., y Okwechime, U. I. (1993). Physicochemical properties and cooking quality of four new cultivars of Nigerian cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 63, 281–286.

Gómez, G., Quesada, S. y Nanne, C. (1998). Efecto de factores antinutricionales en el Plejibaye (*Bactris gasipaes*) sobre el metabolismo de ratas jóvenes. *Agronomía Costarricense*, 22, 191-198.

Grant, G., Dorward, P.M., Buchan, W.C., Amour, J.C. y Pusztai, A., (1995). Consumption of diets containing raw soya beans (*Glycine max*), kidney beans (*Phaseolus vulgaris*), cowpeas (*Vigna unguiculata*) or lupin seeds (*Lupinus angustifolius*) by rats for up to 700 days Effects on body composition and organ weights. *British Journal of Nutrition*, 73, 17–29.

Grewal, A. y Jood, S. (2006). Effect of processing treatments on nutritional and antinutritional contents of green gram. *Journal of Food Biochemistry*, 30, 535-546.

Gueguen, J., M.G. van Oort, L. Quillien y M. Hessing. (1993). The composition, biochemical characteristics and analysis of proteinaceous antinutritional factors in legume seeds. A review. *Recentes advances of research in antinutritional factors in legume seeds: proceedings of de Second International Workshop on*

'Antinutritional Factors (ANFs) in Legume Seeds', Wageningen, The Netherlands, 1-3.

Gurumoorthi, P., Janardhanan, K. y Myhrman, R. (2008). Effect of differential processing methods on L-Dopa and protein quality in velvet bean, an underutilized pulse. *LWT*, 41, 588-596.

Gurumoorthi, P., Pugalenti, M. y Janardhanan, K. (2003). Nutritional potential of five accessions of a south indian tribal pulse *Mucuna pruriens* var *utilis*: ii. investigations on total free phenolics, tannins, trypsin and chymotrypsin inhibitors, phytohaemagglutinins, and in vitro protein digestibility. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 153 – 158.

Guzmán-Maldonado, S., Acosta-Gallegos, J. y Paredes-López, O. (2000). Protein and mineral content of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus Vulgaris* L.). *Journal of Science and Food Agriculture*, 80, 1874-1881.

Hayase, F., Kato, H. y Fujimaki, M. (1975). Racemization of Amino Acid Residues in Proteins and Poly(L-amino acids) during roasting. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 23, 491-494.

Huisman, J. y G.H. Tolman. (1992). Antinutritional factors in the plant proteins of diets for non-ruminants. *Recent Advances in Animal Nutrition*. Garnsworthy, P.C., H. Haresing and D.J.A. Cole (Eds.). Butterworth Heinemann. U.K. pp 3-31.

Huisman, J., Van der Poel A.F., Verstegen, M. W. y Van Weerden E.J. (1990). Antinutritional factors (ANF) in pig production. *World Review of Animal Production*, 25. 77-82.

Hsu, H. W., Vavak, D. L., Satterlee, L. D., y Miller, C. A. (1977). A multienzyme digestibility technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*, 42, 1269–1273.

Infante, M. E., Perez, A. M., Simao, M. R., Manda, F., Baquete, E. F., y Fernandez, A. M. (1990). Outbreak of acute psychosis attributed to *Mucuna pruriens*. *The Lancet*, 336, 1129.

Ingle, P. K. (2003). L-Dopa bearing plants. *Natural Product Radiance*, 2, 126–133.

Irizarry, J. La germinación. [Artículo de Internet]. <http://www.slideshare.net/Prof.Jlirizarry/modulo-14-la-germinacin> [Consulta: 12 de mayo del 2009].

Janardhanan, K., Gurumoorthi, P. y Pugalenti, M. (2003). Nutritional potential of five accessions of a South Indian tribal pulse, *Mucuna pruriens* var. *utilis* L. The effect of processing methods on the content of L-Dopa, phytic acid and oligosaccharides. *Journal of Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 141-152.

Jansman, A.J.M. (1993). Tannins in feed feedstuffs for simple-stomached animals. *Nutrition Research Reviews*, 6. 209-236.

Jood, S., Chauhan, B.M. and Kapoor, A.C. (1987). Polyphenols of chickpea and blackgram as affected by domestic processing and cooking methods. *Journal of Science and Food Agriculture*, 39, 145-149.

Joseph, A., y Dikshit, M. (1993). Effect of irradiation on the proteinase inhibitor activity and digestibility (in vitro) of safflower oil cake. *Journal of American Oil Chemical Society*, 70, 935-937.

Kataria, A., Chauhan, B.M. y Punia, D. (1989a). Antinutrients and protein digestibility (in vitro) of mung bean as affected by domestic processing and cooking. *Food Chemistry*, 52, 9-17.

Kataria, A., Chauhan, B.M. y Punia, D. (1989b). Antinutrients and protein digestibility (in vitro) of mung bean as affected by domestic processing and cooking. *Food Chemistry*, 32, 9-17.

Khalil, A. H., y Mansour, E. H. (1995). The effect of cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of *faba* beans. *Food Chemistry*, 54(2), 177-182.

Khokar, S. y Chanhan, B. M. (1986). Effect of domestic processing and cooking on *in vitro* protein digestibility of the north bean. *Journal of Food Science*, 51, 1083-1085.

Kulhalli, P., (1999). Parkinson's disease therapy – an overview. *Heritage Heal*, July, 29-30.

Kumar, R. y D'Mello, J.P.F. (1995). Anti-nutritional factors in forage legumes. *Tropical Legumes in Animal Nutrition*. D'Mello, J.P.F. and C. Devendra (Eds.). CAB International. U.K. pp 95-133.

Kumazawa, S., Hamasaka, T. y Nakayama, T. (2004). Antioxidant activity of propolis of various geographic origins. *Food Chemistry*, 84, 329-339.

Labaneiah, M.E. y Luh, B.S. (1981). Changes of starch, crude fiber, and oligosaccharides in germinating dry beans. *Cereal Chemistry*, 58, 135-138.

Liener, I. E. (1989). Antinutritional factors in Legume seeds: State of the art. In J. Huisman, A. F. B. van der Poel, & I. E. Linier (Eds.), *Recent advances in research in antinutritional factors in legume seeds* (pp. 6–14). Wageningen: Pudoc.

Liener, I. E. (1994). Implications of antinutritional components in soybeans foods. *Critical Review of Food Science and Nutrition*, 34, 31–67.

Liu, K. (1995). Cellular biological and physicochemical basis for the hard to-cook defect in legume seeds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 263–298.

Lorenzetti, F., Maclsaac, S., Arnason, J. T., Awang, D. V. C., y Buckles, D. (1998). The phytochemistry, toxicology and food potential of velvet bean. In: D. Buckles, A. Eteka, O. Osiname, M. Galiba, & N. Galiano (Eds.), *Cover Crops in West Africa contributing to sustainable agriculture* (pp. 67–84). Ottawa, Canada: IDRC, IITA and SG-2000.

Luthria, D. y Pastor-Corrales, M. (2006). Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 205-211.

Maggi, N., y Cometti, A. (1972). Colorimetric assay of levodopa. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 61, 924-927.

Marbach, I., y Mayer, A. M. (1974). Permeability of seed coats to water as related to drying conditions and metabolism of phenolics. *Plant Physiology*, 54, 817–820.

Marquez, M.C., Fernandez, V. y Alonso, R. (1998). Effect of dry heat on the *in vitro* digestibility and trypsin inhibitor activity of chickpea flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 527–532.

Martín-Cabrejas, M., Esteban, R., Pérez, P., Maina, G. y Waldron, K. (1997). Changes in Physicochemical Properties of Dry Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during Long-Term Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3223-3227.

Martín-Cabrejas, M., y Esteban, R. (1995). Hard-to-cook phenomenon in beans: Changes in antinutrient factors and nitrogenous compounds during storage. *Journal of Science Food Agriculture*, 69, 429–435.

Martínez, H. y Acevedo, X. (2001). La Cadena de alimentos balanceados para animales (ABA) en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Documento de Trabajo No. 01. www.agrocadenas.gov.co

- Mary Josephine R. y Janardhanan, K. (1992) Studies on chemical composition and antinutritional factors in three germplasm seed materials of the tribal pulse, *Mucuna pruriens* (L.) DC. *Food Chemistry*, 43, 13–18.
- Matenga, V., Ngongoni, N., Titterton, M. y Maarsdorp, B. (2003). *Mucuna* seed as a feed ingredient for small ruminants and effect of ensiling on its nutritive value. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 97–106.
- Maurer, G. A., Ozen, B. F., Mauer, L. J., y Nielsen, S. S. (2004). Analysis of hard-to-cook red and black common beans using Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52. 1470–1477.
- Moneam, N. (1990). Effect of presoaking on faba bean enzyme inhibitors and polyphenols after cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 1479–1482.
- Monroy, J. C. (2008). El suelo del Bajo Cauca está herido. [Artículo de Internet]. http://www.elcolombiano.com.co/BancoConocimiento/E/el_suelo_del_bajo_cauca_esta_herido/el_suelo_del_bajo_cauca_esta_herido.asp. [Consulta: 10 de abril de 2008].
- Muinga, R., Saha, H., Mureithi, J. (2003). The effect of *Mucuna* (*Mucuna pruriens*) forage on the performance of lactating cows. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 87–92.
- Nagashayana, N., Sankarankutty, P., Nampoothiri, M. R., Mohan, P. K. y Mohankumar, K.P. (2000). Association of L-Dopa with recovery following ayurveda medication in Parkinson's disease. *Journal of Neurological Science*, 176, 124-127.
- Nasar-Abbas, S. M., Plummer J. A., Siddique, H.M., White, P., Harris, D. y Doods K. (2007). Cooking quality of *fava bean* after storage at high temperature and the role of lignins and other phenolics in bean hardening. *LWT*(article in press).
- Navas, G. y Bernal, J. (1999). Caracterización de leguminosas como abono verde para los sistemas de producción del Piedemonte llanero y Antillanura colombiana. Villavicencio. Corpoica. *Boletín Técnico No. 16*
- Nechama, S. I. y Edward, R.K. (1967). Does 3,4-dihydroxyphenylalanine play a part in favism? *Nature*, 215, 285-286.
- Ospina, C. B. (1992). La Vitabosa (*Mucuna Deeringiana* Bort. Small) en la recuperación de suelos de ladera en zona cálida seca. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Trabajo de grado.

- Perez-Hernandez, F., Ayala-Burgos, A. y Belmar-Casso, R. (2003). Dry matter *in vivo* digestibility of sheep with a basal diet of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) supplemented with velvet bean (*Mucuna Spp.*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 119–122.
- Pomeranz, Y. y Clifton, D. (1981). Food analysis: Theory and practices. E. S. Melon (Ed.). AVI Publishing Company.
- Pond, W. y Maner, J. (1976). Producción de cerdos en climas templados y tropicales. Acribia (Ed). España. p. 180.
- Prakash, D., y Tewari, S. K. (1999). Variation on L-dopa contents in *Mucuna* species. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 21, 343-346.
- Preet, K. y Punia, D. (2000). Antinutrients and digestibility (*in vitro*) of soaked, dehulled and germinated cowpea. *Nutrition and Health*, 14, 109–117.
- Quinn, N. P. (1987). Levodopa. In W. C. Koller, *Handbook of Parkinson's disease* (pp. 317 –337). New York, NY: Marcel Dekker.
- Ravindran, V. y Ravindran, G. (1988). Nutritional and antinutritional characteristics of *Mucuna (Mucuna utilis)* bean seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 46, 71–79.
- Restrepo A. y Márquez C. (1994). Experiencia agropecuaria cooperativa de las tribus Gígal (Chocó) en Economías de las comunidades rurales en el Pacífico Colombiano. Quibdó 19 –21 de octubre de 1994. Proyecto Biopacífico – Ministerio de Medio Ambiente. Santa Fé de Bogotá. 1995. Pp. 61 – 68.
- Roman, A. V., Bender, A. E., y Morton, I. D. (1987). Formulation and processing of a weaning food based on rice, cowpeas and skim milk powder. *Human Nutrition: Food Science and Nutrition*, 41, 15–22.
- Rosset, J., Bärlocher, F. y Oertli, J.J. (1982). Descomposition of conifer needles and deciduous leaves in two Black Forest and two Swiss Jura streams. *International Revue Geamten Hydrobiologie*, 67. 695-711
- Ruiz-Lopez, M. A., Garcia-Lopez, P. M., Castaneda-Vazquez, H., Zamora, N. J., Garzon-Dela Mora, P., Pineda, J., Burbano, C., Pedrosa, M. M., Cuadrado, C., y Muzquiz, M. (2000). Chemical composition and antinutrient content of three lupin species from Jalisco, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, 13,193–199.

Saharan, K. (1994). Studies on the development of products from ricebean and fababean: Their sensory and nutritional evaluation. PhD Thesis, pp. 1–275, CCS Haryana Agricultural University, *Hisar, India*.

Salunkhe, D., Adsule, R., Chavan, J. y Kadam, S. (1992). *World Oilseeds: Chemistry, Technology, and Utilization*. Springer, 553.

Senorans, F. J., Ibanez, E., y Cifuentes, A. (2003). New trends in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43, 507–526.

Sharma A. y Sehgal, S. (1992). Effect of domestic processing, cooking and germination on the trypsin inhibitor activity and tannin content of faba bean (*Vicia faba*), *Plant Foods for Human Nutrition*, 42, 127–133.

Shaw, B. P. y Bera, C. (1993). A preliminary clinical study to cultivate the effect of Vorgorex- SF in sexual disability patients. *Indian Journal of Internal Medicine*, 3,695-711.

Siddhuraju, P., Becker, K., y Makkar, H. P. S. (2000). Studies on the nutritional composition and antinutritional factors of three different germplasm seed materials of an underutilised tropical legume *Mucuna pruriens* var. *utilis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), 6048–6060.

Siddhuraju, P. y Becker, K. (2001a). Effect of various domestic processing methods on antinutrients and in vitro protein digestibility and starch digestibility of two indigeous varieties of Indian tribal pulse, *Mucuna pruriens* var *utilis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3058–3067.

Siddhuraju, P. y Becker, K. (2001b). Preliminary nutritional evaluation of mucuna seed meal (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) in common carp (*Cyprinus carpio* L.): An assessment by growth performance and feed utilisation. *Aquaculture*, 196, 105–123.

Siddhuraju, P. y Becker, K. (2001c). Rapid reversed-phase high performance liquid chromatographic method for the quantitation of L-Dopa (L-3,4-dihydroxyphenylalanine), non-methylated and methylated tetrahydroisoquinoline compounds from *Mucuna beans*. *Food Chemistry*, 72, 389-394.

Siddhuraju, P. y Becker, K. (2005). Nutritional and antinutritional composition, in vitro amino acid availability, starch digestibility and predicted glycemic index of differentially processed mucuna beans (*Mucuna pruriens* var. *utilis*): an under-utilised legume. *Food Chemistry*, 91, 275-286.

Siddhuraju, P., Vijayakumari, K., y Janardhanan, K. (1996). Chemical composition and protein quality of the little known legume Velvet bean (*Mucuna pruriens* L.DC.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 2636–2641.

Singh, U. y Eggum, B. (1984). Factors affecting the protein quality of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Qual Plant – Plant Foods for Human Nutrition*, 34, 273–283.

Suman, C. N., Monterio, P. V., Ramanchandra, G. y Sudharshana, D. (1992). In vitro enzyme hydrolysis of the storage protein of Japanese millet (*Echinochloa frumentacea*). *Journal of Science of Food and Agriculture*, 58, 505–509.

Takasaki, S., y Kawakishi, S. (1997). Formation of protein-bound 3, 4-dihydroxyphenylalanine and 5 S-cysteinyl-1-3, 4, dihydroxyphenylalanine as new cross-linkers in gluten. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3472–3475.

Topps, J.H. y Oliver, J. 1993. Animal foods of Central Africa. *Zimbabwe Agricultural Journal, Technical Bull. No. 2*. Harare, Zimbabwe, pp. 76–105.

Trejo, L.W. (1998). Evaluación Nutricional del frijol terciopelo (*Stizolobium deeringianum*) en la alimentación de pollos de engorde. Tesis MsC. Universidad Autónoma de Yucatán. México.

Universidad de Antioquia (2004). BAJO CAUCA. La ruta de los minerales. [Artículo de Internet]. <http://regionalizacion.udea.edu.co/cauca/sec-region.htm>. . [Consulta: 3 de abril del 2008].

Ukachukwu, S y Szabo, N. (2003). Effect of processing, additives and Vitamin B₆ supplementation of *Mucuna pruriens* var *conchinchinensis* on broilers. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 227- 237.

Ukachukwu, S., Ezeagu I., Tarawali G., y Ikeorgu J. (2002). Utilization of *Mucuna* as food and feed in West Africa. Pp. 189-217 in *Food and Feed from Mucuna: Current Uses and the Way Forward, Proceedings of an International Workshop*, Tegucigalpa, Honduras, April 26-29 2000, eds. Flores, M.B., Eilitta, M., Myhrman, R., Carew, L.B. and Carsky, R.J. CIDICCO, CIEPCA, Judson College.

Vaidehi, M. P. y Kadam, S. S. (1989). Nutritional chemistry, processing technology and utilization. In D. K. Salunke, y S. S. Kadam (Eds.) *Handbook of World Food Legumes*, Vol. II. Boca Raton, FL: CRC.

Valdivel, V. (2000). Nutritional and anti-nutritional composition of velvet bean: an under-utilized food legume in South India. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 51, 279-287.

Vadivel, V y Janardhanan, K. (2005). Nutritional and Antinutritional Characteristics of Seven South Indian Wild Legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60, 69–75.

Vadivel, V y Janardhanan, K. (2000). Nutritional and antinutritional composition of velvet bean: An under-utilized food legume in South India, *International Journal of Food Science and Nutrition*, 51, 279–287.

Vicepresidencia de la República de Colombia (2008). Situación de derechos humanos en el Bajo Cauca Antioqueño. [Artículo de Internet]. <http://www.derechoshumanos.gov.co/modules.php?name=informacion&file=article&sid=695>. [Consulta: 3 de abril del 2008].

Vidal-Valverde, C., Frías, J., Sierra, I., Blázquez, I., Lambein, F., y Kuo, Y. H. (2002). New functional legume foods by germination: Effect on the nutritive value of beans, lentils and peas. *European Food Research and Technology*, 215, 472–477.

Vidivel, V., y Janardhanan, K. (2001). Nutritional and antinutrient attributes of the underutilized legume *Cassia floribunda* car. *Food Chemistry*, 73, 209–215.

Vijayakumari, K., Siddhuraju, P. y Janardhanan, J. (1996). Effect of domestic processing on the levels of certain antinutrients in *Prosopis chilensis* (Molina) Stunz. Seeds. *Food Chemistry*, 59, 367-371.

Wang, N., Hatcher, D. y Gawalko, E. (2008). Effect of variety and processing on nutrients and certain anti-nutrients in field peas (*Pisum sativum*). *Food Chemistry*, 111, 132-138.

Wang, N., Lewis, M.J., Brennan, J.G y Westby, A. (1997). Effect of processing methods on nutrients and antinutritional factors in cowpea, *Food Chemistry*, 58, 59–68.

Wanjekeche, E., Wakasa, V., y Mureithi, J. G. (2003). Effect of germination, alkaline and acid soaking and boiling on the nutritional value of mature and immature *Mucuna* (*Mucuna pruriens*) beans. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 183–192.

Wichers, H. J., Wijnsma, R., Visser, J. F., Malingre, T. H. M., y Huizing, H. J. (1985). Production of L-DOPA by cell suspension culture of *Mucuna pruriens*. II. Effect of environmental parameters on the production of L-DOPA. *Plant Cell Tissue Organ culture*, 4, 75–82.

Wilmot-dear, C.M. (1984). A revision of *Mucuna* (Leguminosae–Phaseolae) in China and Japan. *Kew Bulletin*, 39(1), 23–65.

Wrenn, B. Biodegradation of Aromatic hydrocarbons. [Artículo de Internet]. www.ence.umd.edu/~eseagren/bioAHC97.htm. [Consulta: 23 de noviembre del 2008].

Wrolstad, R., Acree, T., Decker, E., Penner, M., Reid, D., Schwartz, S., Shoemaker, C., Smith, D. y Sporns, P. (2005). Handbook of Food Analytical Chemistry. USA. Wiley Interscience.

Yemall, B. (1998) Colombia: Cadena productiva de cereales forrajeros-alimentos balanceado-avicultura-carne de pollo y gallina. DNP-DDE. Documento de trabajo.

Ziena, H. M., Youssef, M. M., y El-Mahdy, A. R. (1991). Amino acid composition and some antinutritional factors of cooked faba beans Medammis: Effects of cooking temperature and time. *Journal of Food Science*, 56(5), 1347–1349, 1352.

ANEXOS

Anexo A. Resultados de L-Dopa por HPLC

Anexo B. Curvas de Calibración

FENOLES TOTALES

Concentración (ug/mL de ácido gálico)	50	100	200	300	400	500
Absorbancia a 760 nm	0,163	0,339	0,698	0,988	1,373	1,588
Coefficiente de correlación: 0,995						
Ecuación de la curva: $0,0032X + 0,0241$						

TANINOS

Concentración (ug/mL de catequina)	50	100	150	200	250
Absorbancia a 500 nm	0,052	0,062	0,073	0,081	0,091
Coefficiente de correlación: 0,997					
Ecuación de la curva: $0,00005x + 0,04270$					

